



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PARA LA PARROQUIA "VUELTA LARGA" DEL  
CANTÓN ESMERALDAS**

**Trabajo de titulación**

**Tipo: PROYECTO TÉCNICO**

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR: SAUL DAVID VALDEZ ROSALES**

**TUTOR: ING. HUGO CALDERÓN**

Riobamba – Ecuador

2018

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE CIENCIAS**

### **ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que: el presente trabajo técnico DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA PARROQUIA “VUELTA LARGA” DEL CANTÓN ESMERALDAS de responsabilidad del señor Saul David Valdez Rosales ha sido revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de titulación, quedando autorizada así su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Hugo Calderón

\_\_\_\_\_

19/01/2018

**DIRECTOR DEL TRABAJO**

**DE TITULACIÓN**

Dr. Fausto Yaulema

\_\_\_\_\_

19/01/2018

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Yo, **SAUL DAVID VALDEZ ROSALES**, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos, y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**.

---

**SAUL DAVID VALDEZ ROSALES**

## **DEDICATORIA**

A toda mi familia, a mis entrañables padres: David y Jacinta que han sido mi guía en cada etapa de mi vida y en especial a la memoria eterna de mi hermano Gregorio.

**Saul**

## **AGRADECIMIENTO**

Infinitamente a Dios por haberme dado salud y sabiduría para asumir este gran reto de mi vida.

A toda mi familia y en especial a mis padres por haberme apoyado incondicionalmente en la consecución de cada uno de mis sueños.

Al GAD Municipal de Esmeraldas por haberme dado la apertura para la ejecución del presente trabajo.

Al Ing. Hugo Calderón y Dr. Fausto Yaulema por su colaboración y orientación desinteresadamente en el desarrollo de este trabajo de titulación.

**Saul**

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>%</b>	Porcentaje
<b>°C</b>	Grados Centígrados
<b>µm</b>	Micrómetros
<b>AM</b>	Acuerdo Ministerial
<b>AWWA</b>	American Water Works Association
<b>b</b>	Ancho de canal
<b>CR</b>	Coefficiente de retorno
<b>DBO</b>	Demanda Biológica de Oxígeno
<b>DQO</b>	Demanda Química de Oxígeno
<b>Dot</b>	Dotación de agua potable
<b>EAPA</b>	Empresa de Agua Potable y Alcantarillado
<b>ESPOCH</b>	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
<b>e</b>	Espesor
<b>G</b>	Gradiente de velocidad
<b>GAD</b>	Gobierno Autónomo Descentralizado
<b>h</b>	Altura de canal
<b>Ha</b>	Habitantes
<b>INEC</b>	Instituto Nacional de Estadística y Censo
<b>INEN</b>	Instituto Ecuatoriano de Normalización
<b>L</b>	Longitud
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>n</b>	Intervalo de tiempo
<b>N</b>	Norte
<b>O</b>	Oeste
<b>Pa</b>	Población Actual

<b>Pf</b>	Población Futura
<b>PAC</b>	Policloruro de Aluminio
<b>PVC</b>	Cloruro de polivinilo
<b>pH</b>	Potencial de Hidrógeno
<b>Qmax</b>	Caudal máximo teórico
<b>r</b>	Índice de crecimiento
<b>RAS</b>	Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable
<b>RH</b>	Radio Hidráulico
<b>S</b>	Pendiente
<b>T</b>	Temperatura
<b>TULSMA</b> Ambiente	Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio
<b>V</b>	Volumen

## TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xiiiv
CAPÍTULO I.....	1
1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.1 Identificación del Problema .....	1
1.2 Justificación del Problema .....	2
1.3 Línea Base del Proyecto .....	4
1.3.1 Metodología .....	4
1.3.2 Muestreo .....	7
1.3.3 Caracterización del Agua Residual .....	8
1.3.4 Medición de Caudal .....	10
1.3.5 Beneficiarios Directos e Indirectos .....	11
CAPÍTULO II .....	12
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	13
2.1 Objetivo General.....	13
2.2 Objetivos Específicos .....	13
CAPÍTULO III.....	15
3. ESTUDIO TÉCNICO PRELIMINAR.....	14
3.1 Localización del Proyecto.....	15
3.1.1 Factores Climáticos .....	15
3.2 Ingeniería del Proyecto.....	16
3.2.1 Agua Residual .....	16
3.2.2 Agentes Naturales Empleados Como Alternativa para el Tratamiento de Aguas Residuales.....	28
3.2.3 Nuevas Tecnologías en el Tratamiento de Aguas Residuales .....	34
3.2.4 Parámetros del diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales .....	42
3.3 Dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales .....	81
3.4 Cálculos.....	82



3.4.1	<i>Cálculo de la Población Futura</i>	82
3.4.2	<i>Cálculo del caudal</i>	82
3.4.3	<i>Cálculo del canal</i>	84
3.4.4	<i>Cálculo de las Rejillas</i>	86
3.4.5	<i>Cálculos para el Ecualizador</i>	89
3.4.6	<i>Cálculos para el Coagulador Floculador</i>	90
3.4.7	<i>Cálculo de la dosificación de coagulante a partir de la hoja de tuna</i>	95
3.4.8	<i>Cálculos para el Sedimentador</i>	96
3.4.9	<i>Cálculo para el Filtro</i>	99
3.5.1	<i>Cálculo de parámetros para el diseño del sistema de drenaje</i>	102
3.5.3	<i>Porcentajes de remoción</i>	104
3.6	<b>Resultados</b>	106
3.6.1	<i>Resultados del tratamiento</i>	106
3.6.2	<i>Resultados de la población futura</i>	106
3.6.3	<i>Resultados de los Caudales</i>	107
3.6.4	<i>Resultados del Dimensionamiento del Sistema de Tratamiento</i>	107
3.6.5	<i>Cumplimiento de parámetros con la normativa ambiental TULSMA</i>	112
3.6.6	<i>Evaluación del poder coagulante</i>	113
3.6.7	<i>Porcentaje de remoción de los parámetros que no cumplen con la normativa ambiental TULSMA</i>	113
3.7	<b>Propuesta</b>	114
3.8	<b>Presupuesto</b>	115
3.9	<b>Análisis y Discusión de Resultados</b>	117
	<b>CONCLUSIONES</b>	122
	<b>RECOMENDACIONES</b>	123
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Pruebas de tratabilidad .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 2-1 Concentración Tuna frente a turbiedad .....	7
Tabla 3-1 Análisis fisicoquímico inicial del agua residual cruda .....	8
Tabla 4-1 Análisis Microbiológico inicial del Agua Residual .....	9
Tabla 5-1 Parámetros Fisicoquímicos que no cumplen con la normativa del TULSMA.	9
Tabla 6-1 Parámetros Microbiológicos que no cumplen con la normativa del TULSMA .....	9
Tabla 7-1 Aforo de caudal semanal .....	11
Tabla 1-3 Factores Climáticos .....	15
Tabla 2-3 Consideraciones en el tratamiento de aguas residuales .....	22
Tabla 3-3 Tratamientos Físicos.....	25
Tabla 4-3 Tratamientos Físico - Químico.....	25
Tabla 5-3 Velocidades del agua medias máximas admisibles para canales abiertos.....	46
Tabla 6-3 Caudal en función del borde libre en canales abiertos .....	46
Tabla 7-3 Revisión de la capacidad de conducción de los canales revestidos .....	46
Tabla 8-3 Coeficiente de Manning .....	46
Tabla 9-3 Forma del vertedero en función del caudal .....	47
Tabla 10-3 Parámetros del canal de rejas de un sistema manual.....	49
Tabla 11-3 Dimensiones para el diseño de rejillas de limpieza manual .....	50
Tabla 12-3 Coeficiente de pérdidas para Rejillas .....	50
Tabla 13-3 Parámetros de diseño para un tanque ecualizador.....	53
Tabla 14-3 Especificaciones técnicas mezclador.....	55
Tabla 15-3 Parámetros de diseño para un coagulador floculador hidráulico de flujo horizontal .....	56
Tabla 16-3 Parámetros específicos para cada tipo de pantalla .....	57
Tabla 17-3 Número de Intensidad .....	57
Tabla 18-3 Parámetros de diseño para tanques de sedimentación	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

Tabla 19-3 Parámetros de diseño para tanques de sedimentación rectangular y circular .....	67
Tabla 20-3 Parámetros de diseño para pantalla difusora .....	68
Tabla 21-3 Parámetros de diseño para Filtros .....	73
Tabla 22-3 Parámetros de diseño para Filtros .....	74
Tabla 23-3 Datos para el cálculo de la población futura .....	82
Tabla 24-3 Datos para el cálculo de caudales .....	82
Tabla 25-3 Datos para el cálculo de rejillas de limpieza manual .....	86
Tabla 26-3 Resultados del tratamiento <i>Opuntia ficus indica</i> (TUNA). .....	106
Tabla 27-3 Resultados de la población futura .....	106
Tabla 28-3 Resultados de los caudales .....	107
Tabla 29-3 Resultados del dimensionamiento del canal .....	107
Tabla 30-3 Resultados del dimensionamiento de rejillas .....	108
Tabla 31-3 Resultados del dimensionamiento del ecualizador.....	108
Tabla 32-3 Resultados del dimensionamiento del coagulador floculador .....	109
Tabla 33-3 Resultados del dimensionamiento del sedimentador.....	110
Tabla 34-3 Resultados del dimensionamiento del filtro .....	111
Tabla 35-3 Cumplimiento de la norma .....	112
Tabla 36-3 Cumplimiento de la Norma (validación).....	113
Tabla 37-3 Porcentajes de remoción.....	113
Tabla 38-3 Costo planta de tratamiento .....	115
Tabla 39-3 Costos de Coagulantes.....	117

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Localización del proyecto .....	15
Figura 2-1 Descarga de Aguas Residuales .....	16
Figura 1-3 Tratamiento Terciario: a) ozonización; b) filtro de carbón activado .....	27
Figura 2-3 Lodos Activados .....	28
Figura 3-3 Tuna Opuntia ficus-indica.....	29
Figura 4-3 Almidón de yuca .....	30
Figura 5-3 Semillas de moringa.....	31
Figura 6-3 Cassia Obtusifolia .....	32
Figura 7-3 Jatropha Curcas .....	33
Figura 8-3 Proceso de electrodeposición .....	34
Figura 9-3 Proceso de electroflotación .....	36
Figura 10-3 Proceso de electrocoagulación .....	38
Figura 11-3 Proceso de electrooxidación.....	39
Figura 12-3 Proceso de electrodialisis .....	40
Figura 13-3 Proceso de osmosis .....	41
Figura 14-3 Dosificación de tuna.....	96

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1 Dosis Óptima.....	7
Gráfico 2-1 Valores iniciales del agua residual vs límites máximos permisibles .....	9
Gráfico 3-1 Valores iniciales de coliformes del agua residual vs límites máximos permisibles .....	10
Gráfico 4-1 Caudal promedio semanal .....	11
Gráfico 1-3 Canal.....	107
Gráfico 2-3 Rejillas.....	108
Gráfico 3-3 Ecualizador.....	109
Gráfico 4-3 Coagulador Floculador .....	110
Gráfico 5-3 Sedimentador.....	111
Gráfico 6-3 Filtro .....	112

## RESUMEN

El objetivo fue efectuar el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la parroquia "Vuelta Larga" del cantón Esmeraldas. Se hizo una caracterización física, química y biológica del agua con el objetivo de conocer cuáles son los parámetros que están fuera de límite según el TULSMA los cuales son: Demanda Química de Oxígeno (DQO) 448 mg/L, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) 150 mg/L, Nitrógeno Total 64 mg/L, Coliformes Fecales  $1,7 \times 10^5$  UFC/100 mL y Coliformes Totales 280000  $2,8 \times 10^5$  UFC/100 mL. Para su correspondiente tratamiento se usó un coagulante natural obtenido a partir de la hoja de Tuna, de tal forma que se pueda reemplazar a los agentes químicos en gran parte, la dosis ideal fue de 3,5 ml de solución de Tuna más una gota de Policloruro de Aluminio (PAC) como ayudante con la que se alcanzó muy buenos porcentajes de remoción DQO 78,12 %, DBO<sub>5</sub> 58 %, Nitrógeno Total 89,06 %, Coliformes Fecales 100%, Coliformes Totales 100% y Turbidez 85,47 % evidenciando que el tratamiento es viable. De acuerdo a la tratabilidad que se desarrolló se propone un sistema de tratamiento estructurado de la siguiente forma: un canal rectangular, rejillas, un ecualizador, un coagulador floculador, un sedimentador rectangular y un filtro de tal manera que se cumpla con cada uno de los parámetros establecidos por la normativa ambiental del TULSMA.

**Palabras Claves:** <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA> < TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES> <CARACTERIZACIÓN DEL AGUA> <COAGULANTE NATURAL> <TUNA (*Opuntia ficus indica*)> <AGENTES QUÍMICOS> <PORCENTAJE DE REMOCIÓN> <FLOCULADOR>

## ABSTRACT

The objective was to design a wastewater treatment system for the "Vuelta Larga" parish of Esmeraldas canton. A physical, chemical and biological characterization of the water was carried out with the objective of knowing, which parameters are out the limits according to the TULSMA, the same which are: Chemical Oxygen Demand (COD) 448 mg / L, Biological Oxygen Demand (DBO5) 150 mg / L, Total Nitrogen 64 mg / L, Faecal Coliforms  $1.7 \times 10^5$  CFU / 100mL and Total Coliforms 280000  $2.8 \times 10^5$  CFU / 100mL. For its corresponding treatment a natural coagulant obtained from the leaf of Tuna was used, in such a way that chemical agents can be replaced in large part, the ideal dose was 3.5 ml of Tuna solution plus a drop of Aluminium Polychloride (PAC) as assistant; good removal percentages were achieved COD 78.12%, BOD5 58%, Total Nitrogen 89.06%, Faecal Coliforms 100%, Total Coliforms 100% and Turbidity 85.47% evidencing that the treatment is feasible. According to the developed treatability, a structured treatment system is proposed in the following way: a rectangular channel, grids, an equalizer, a flocculator coagulator, a rectangular settler and a filter, in such a way that each one of the parameters established by the TULSMA environmental regulations is fulfilled.

**Keywords:** Engineering and Chemical Technology, Wastewater Treatment, Water Characterization, Natural Coagulant, Tuna (*Opuntia ficus indica*), Chemical Agents, Remediation Percentage, Flocculator.

## **CAPÍTULO I**

### **1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Identificación del Problema**

Vuelta Larga es una de las nueve parroquias que pertenece al cantón Esmeraldas y se encuentra ubicada en la parte oeste del mismo, con una extensión de 77.22 Km<sup>2</sup>, que equivale a 7721.51 Ha. Lo que representa solo el 5.80% del total de extensión del cantón Esmeraldas y con una población de 2997 habitantes según el último censo realizado en el año 2010 por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC).

Una de las problemáticas ambientales más frecuentes en los últimos años es sin lugar a duda la contaminación de los recursos hídricos la misma que requiere de un trabajo apremiante por parte de los municipios; Ya que debido al aumento de la población se ha registrado un incremento significativo de las descargas de aguas servidas sin tratar.

El tratamiento de aguas residuales en los diferentes ámbitos que se ha aplicado ha mejorado la calidad de los recursos hídricos atenuando los impactos ambientales que son generados como consecuencia de la actividad humana, la parroquia "Vuelta Larga" la cual es una de la principales en el cantón Esmeraldas no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales como desenlace a esta problemática la contaminación ha aumentado considerablemente en la última década generando problemas al entorno.

De acuerdo a la visita realizada se pudo evidenciar que en el sector existe la presencia de olores pestíferos que generan incomodidad a los moradores del sector, así como la presencia de desecho sólidos los cuales se acumulan en los alrededores del Río Teaone provocando la proliferación de vectores de enfermedades tales como moscas, carroñeros, entre otros.



Las descargas permanentes de aguas residuales al Río Teaone, el mismo que atraviesa la parroquia Vuelta Larga de sur a norte que desemboca en el Río Esmeraldas que baña la parte noreste de la parroquia ha aumentado considerablemente generando impactos notables al ambiente originando la pérdida de calidad del ecosistema.

Es por ello que se propone dar una solución apremiante a esta problemática en conjunto con el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Esmeraldas solventando la necesidad de la institución mediante el estudio de un diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la parroquia "Vuelta Larga"

## **1.2 Justificación del Problema**

La parroquia "Vuelta Larga" del cantón Esmeraldas al no contar con un tratamiento de aguas residuales representa un problema para la población ya que pone en riesgo la salud de cada uno de los habitantes de la zona ya que el Río Teaone también es empleado para el entretenimiento de las personas que viven en el sector, por tal razón es de gran apremio e importancia dar solución a esta problemática de tal forma que se pueda mejorar la calidad de vida de los residentes y recursos hídricos de la zona evitando daños considerables al hábitat.

El desarrollo de este proyecto beneficiará a los moradores de la parroquia "Vuelta Larga" del cantón Esmeraldas ya que al tener la posibilidad de contar con un sistema de tratamiento de aguas residuales se va a lograr la atenuación de impactos ambientales que se dan en el sector como consecuencias de las descargas de aguas residuales e industriales al Río de la parroquia Teaone sin ningún tratamiento previo, mejorando la calidad de vida de los habitantes y los recursos hídricos del sector.

De no resolver la problemática que presenta esta importante parroquia ocasionará grandes problemas sociales y económicos ya que con el paso del tiempo se reducirá la calidad de vida de los habitantes del sector dando paso a cuantiosas enfermedades.

El Río Teaone va ir aumentando su grado de contaminación considerablemente y al unirse con el río Esmeraldas el más grande y principal de la ciudad de donde la planta de tratamiento de Agua Potable de Esmeraldas se abastece va a ser afectado notablemente siendo mucho más complejo y por ende costoso tratar estas aguas por su alto nivel de contaminación y no solo perjudicará a esta parroquia sino a toda la ciudad de Esmeraldas.

Por las razones citadas primitivamente se justifica proponer un **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA PARROQUIA VUELTA LARGA DEL CANTÓN ESMERALDAS”**, de tal forma que se pueda mejorar la calidad del ambiente y el bienestar de los moradores de la parroquia cumpliendo con cada uno de los parámetros exigidos por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), Acuerdo Ministerial 387 del 4 de Noviembre de 2015. Tabla 9, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. (MINISTERIO DEL AMBIENTE ECUADOR)

### **1.3 Línea Base del Proyecto**

#### **1.3.1 Metodología**

Para el desarrollo del presente trabajo se establecen los siguientes métodos: inductivo, deductivo y experimental.

##### ***1.3.2.1 Métodos***

**Inductivo:** Luego de la respectiva observación se contempló que la parroquia Vuelta Larga del Cantón Esmeraldas está notablemente afectada por las constantes descargas de efluentes, en donde se realizó la toma de muestras representativas del lugar de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana, Instituto Ecuatoriano de Normalización (NTE INEN) 2169:98, Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras. También se efectuó la medición de caudales de tal forma que se puedan recabar datos con los que se logrará dar una solución al problema planteado mediante el dimensionamiento del sistema. (INEN)

**Deductivo:** A partir de fundamentos ya obtenidos en el método inductivo se efectuó la caracterización de las muestras tomadas en donde se obtuvieron diferentes valores los mismos que fueron comparados con la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua según el Acuerdo Ministerial 097-A del TULSMA y se evidencio que un número determinado de parámetros estaban por fuera de la Norma, de acuerdo a estos valores se realizó la selección apropiada de las pruebas de tratabilidad para dar solución a la problemática de este estudio.

**Experimental:** Las pruebas de tratabilidad se desarrollaron mediante un método químico y natural.

En el fisicoquímico se emplearon diferentes coagulantes como: Sulfato de Aluminio, Cloruro Férrico y Poli Cloruro de Aluminio en donde se hizo una comparación con respecto al rendimiento y eficiencia.

En el método natural se usó un coagulante natural extraído a partir de la hoja de Tuna, en donde se realizó pruebas a diferentes concentraciones con la finalidad de encontrar la concentración ideal.

#### ***1.3.2.2 Obtención del coagulante natural a partir de la hoja de la Opuntia Ficus Indica (Tuna).***

La obtención de este coagulante se da a partir de varias operaciones unitarias como es: secado, molienda, tamizado y extracción sólido-líquido. (Comprobación de la efectividad del coagulante (cochifloc) en aguas del lago de Managua "Piedras Azules", 2004)

Primero se realizó la selección de la materia prima de tal forma que se pueda comprobar que las hojas de *Opuntia Ficus Indica* (Tuna) estén en buenas condiciones, se seleccionaron 6 hojas de la misma con las siguientes longitudes: 30 cm de largo, 15 cm de ancho y 1,5 cm de espesor las cuales fueron sometidas a un proceso de lavado y pelado retirando la capa exterior.

Seguidamente se realizaron varios cortes finos de la pulpa obtenida de la tuna los cuales fueron ingresados al secador de bandejas del laboratorio de procesos industriales de la facultad, en el mismo se efectuó la operación de secado a una temperatura de 60° C durante 24 horas continuas.

Como consecuencia de esta operación se obtuvo una notable pérdida de tamaño de los cortes ingresados inicialmente debido a la gran pérdida de humedad que se dio en dicho proceso.

Luego estos cortes fueron retirados del equipo y se trituraron a través del molino adquiriéndose un polvo de color amarillo.

El polvo obtenido se tamizó durante varios minutos en una serie de tamices Tyler normalizados con la finalidad de asegurar que las partículas empleadas en la siguiente operación conserven un diámetro de partícula menor a 0.5 mm de tal forma que se pueda favorecer la extracción de pigmentos, como resultado de dicha operación se consiguió 37,36 g. de tuna.

Los finos obtenidos se sometieron a una extracción de tipo soxhlet usando como solvente el etanol al 96% durante dos horas y medias con el objetivo de retirar toda la clorofila presente en los finos evitando así la coloración verdosa del agua en el proceso de coagulación y floculación (Ver Anexo C)

**Tabla 1-1** Pruebas de Tratabilidad

<b>TURBIEDAD 179 NTU rpm=200</b>					
<b>Conc. PAC</b>	<b>Conc. TUNA</b>	<b>Dosis PAC (mL)</b>	<b>Dosis TUNA (mL)</b>	<b>Turbiedad Final (NTU)</b>	<b>% Remoción</b>
0,1	0,01	0,1	2,5	65	63,69
0,1	0,01	0,1	3	38	78,77
0,1	0,01	0,1	3,5	26	85,47
0,1	0,01	0,1	4	44	75,42
0,1	0,01	0,1	4,5	79	55,87
0,1	0,05	0,1	2,5	97	45,81
0,1	0,05	0,1	3	80	55,31
0,1	0,05	0,1	3,5	67,8	62,12
0,1	0,05	0,1	4	60,1	66,42
0,1	0,05	0,1	4,5	54	69,83
0,1	0,1	0,1	2,5	112,1	37,37
0,1	0,1	0,1	3	117	34,64
0,1	0,1	0,1	3,5	132,5	25,98
0,1	0,1	0,1	4	135	24,58
0,1	0,1	0,1	4,5	137,4	23,24

Elaborado por: Valdez, S., 2017

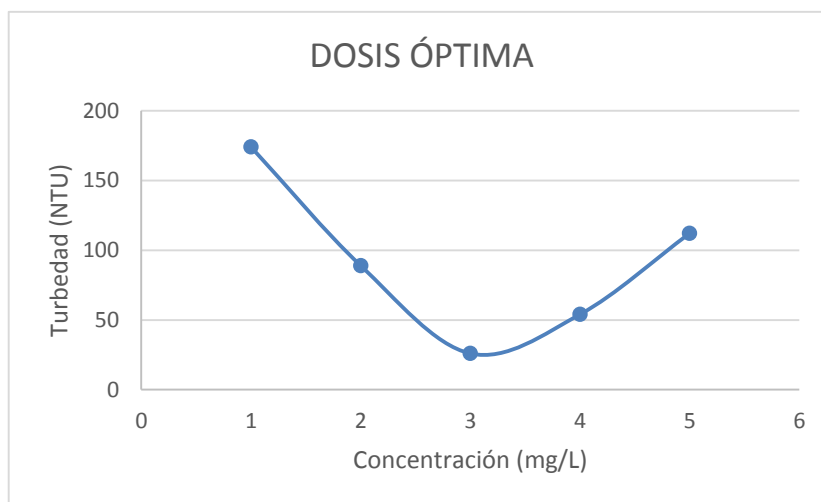
### 1.3.2.3 Pruebas de Tratabilidad

Las pruebas de tratabilidad se realizaron mediante el test de jarras de tal forma que se pueda encontrar la dosis ideal, en donde se usaron diferentes concentraciones de Tuna como se puede apreciar en la siguiente tabla:

**Tabla 2-1** Concentración Tuna frente a turbiedad

Concentración TUNA	Turbiedad
0,001	174
0,005	89
0,01	26
0,05	54
0,1	112,1

Elaborado por: Valdez, S., 2017



**Gráfico 1-1** Dosis Óptima

Elaborado por: Valdez, S., 2017

### 1.3.2 Muestreo

El muestreo fue efectuado de acuerdo a la NTE INEN 2169:98, Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.

Se tomaron varias muestras de tipo compuesta por distintas fechas sábado 16 y viernes 22 de septiembre del 2017 en jornadas diferentes 08h00, 12h00 y 18h00 ya que en el lugar se puede evidenciar cambios considerables en el caudal y textura del efluente.

Las mismas fueron envasadas en recipientes esterilizados y almacenadas en neveras portátiles cuya temperatura es mucho más baja a la que se tomó la muestra esto con la finalidad de no contaminar y evitar cambios significativos en la muestra ya que de la calidad del muestreo van a depender los resultados que se obtengan en el laboratorio.

### 1.3.3 Caracterización del Agua Residual

La caracterización inicial de las muestras se realizó en el Laboratorio de Calidad de Aguas de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**Tabla 3-1** Análisis fisicoquímico inicial del agua residual cruda

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	VALOR MUESTRA	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
pH	Und.	4500-B	7,87	*6-9
Color	Und. Co/Pt	2120-C	810	-
Turbiedad	NTU	2130-B	179	-
Temperatura	°C	2550-B	24	-
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	905	-
Aceites y Grasas	mg/L	2530-C	12	*30
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	448	*200
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	150	*100
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	7,92	*10
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	HACH 10072	64	*50
Sulfatos	mg/L	4500 SO4 - E	262	*1000
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	460	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2540-C	101	*130
Sólidos Sedimentables	mg/L	2540-B	500	-
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1385	*1600

**Fuente:** Laboratorio de calidad del agua – ESPOCH. / \* 097-A TULSMA. Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

**Tabla 4-1** Análisis Microbiológico inicial del Agua Residual

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	VALOR MUESTRA	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	9222 - B	170000	*2000
Coliformes Totales	UFC/100mL	9222 - B	280000	*2000

**Fuente:** Laboratorio de calidad del agua – ESPOCH. / \* 097-A TULSMA. Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

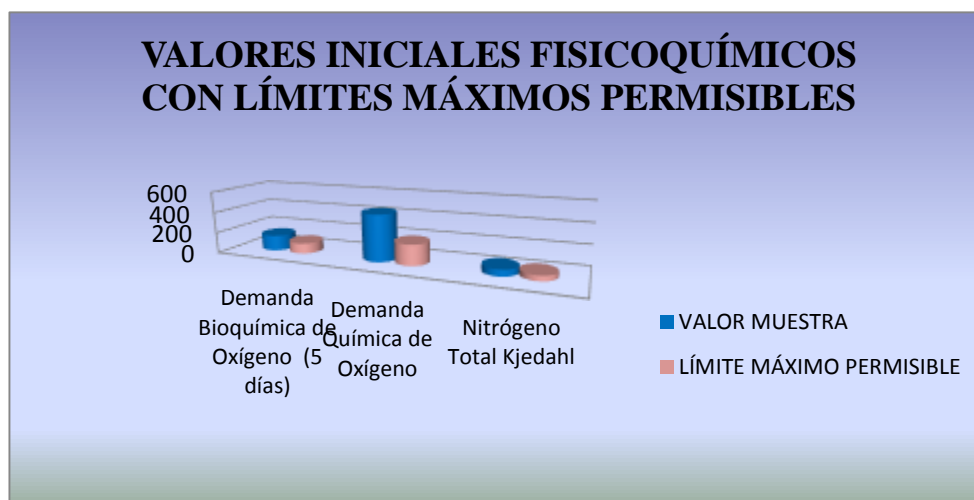
### 1.3.3.1 Parámetros Fisicoquímicos que no cumplen con la normativa del TULSMA

**Tabla 5-1** Parámetros Fisicoquímicos que no cumplen con la normativa del TULSMA

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	VALOR MUESTRA	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	5210-B	150	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	448	200
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	HACH 10072	64	50
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	9222 - B	170000	2000
Coliformes Totales	NMP/100 ml	9222 - B	280000	2000

**Fuente:** 097-A TULSMA. Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

**Elaborado por:** Valdez, S., 2017



**Gráfico 2-1** Valores iniciales del agua residual vs límites máximos permisibles

**Elaborado por:** Valdez, S., 2017

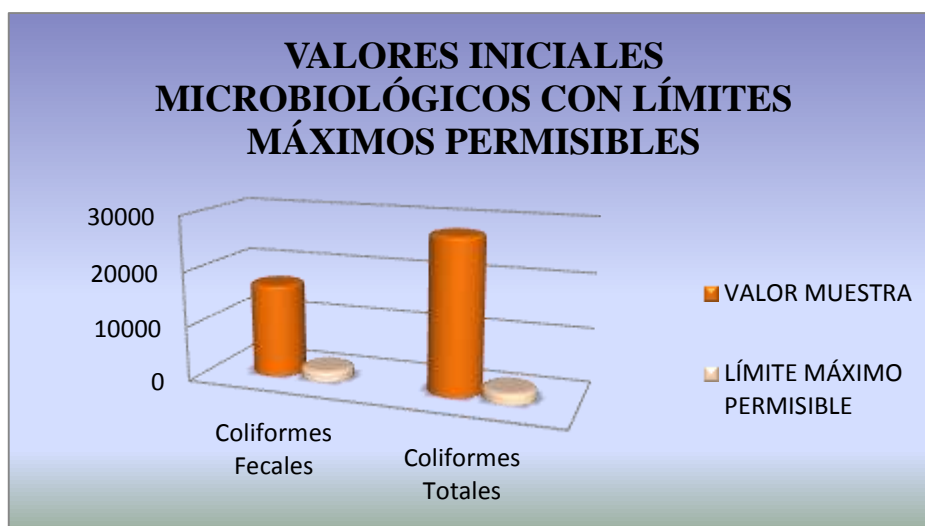


**Tabla 6-1** Parámetros Microbiológicos que no cumplen con la normativa del TULSMA

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	VALOR MUESTRA	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	9222 - B	170000	2000
Coliformes Totales	NMP/100 ml	9222 - B	280000	2000

**Fuente:** 097-A TULSMA. Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

**Elaborado por:** Valdez, S., 2017



**Gráfico 3-1** Valores iniciales de coliformes del agua residual vs límites máximos permisibles

**Elaborado por:** Valdez, S., 2017

### 1.3.4 Medición de Caudal

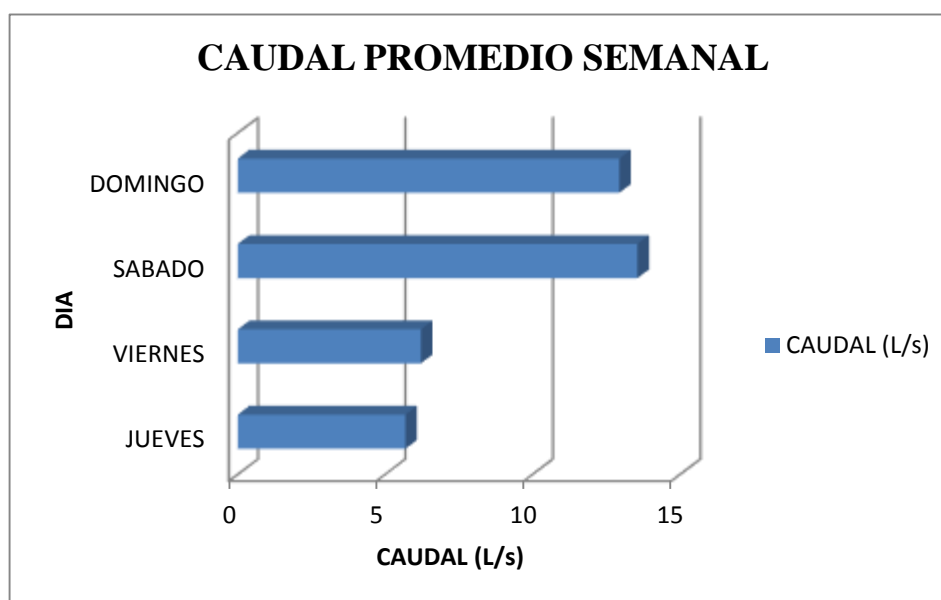
El caudal con que se descarga aguas residuales al afluente de la parroquia Vuelta Larga es muy variado por lo que se procedió a realizar el método volumétrico para su correspondiente determinación.

La medición de caudal se efectuó durante cuatro días como se detalla a continuación con los siguientes valores obtenidos:

**Tabla 7-1** Aforo de caudal semanal

HORA	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
CAUDAL (L/s)				
08h00	5.8962	6.9541	15.4083	11.8765
10h00	5.0302	6.0864	13.7363	12.7714
12h00	6.4725	6.8074	16.0772	14.0056
14h00	5.7537	5.6338	12.7714	11.6279
16h00	4.9975	5.2882	11.8765	11.8483
18h00	5.9773	6.5274	11.4548	15.5039
<b>PROMEDIO</b>	5.6879	6.2162	13.5541	12.9389
<b>PROMEDIO SEMANAL</b>	<b>9.5993</b>			

Elaborado por: Valdez, S., 2017



**Gráfico 4-1** Caudal promedio semanal

Elaborado por: Valdez, S., 2017

### 1.3.5 Beneficiarios Directos e Indirectos

El desarrollo del diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la parroquia “ Vuelta Larga ” del cantón Esmeraldas beneficiará directamente a 2997 habitantes con los que cuenta esta parroquia según los datos proporcionados por el (INEC), ya que al implementar este sistema de tratamiento se logrará mejorar la calidad de vida de cada uno de los moradores del sector eliminando los malos olores y la

acumulación de desechos sólidos en los alrededores del río disminuyendo notablemente los impactos ambientales que se están ocasionando al medio.

Indirectamente la ejecución de dicho proyecto contribuirá a mejorar la condición de los recursos hídricos del cantón Esmeraldas el mismo que cuenta con una población de 530972 habitantes según el INEC y por parte de la EAPA SAN MATEO será mucho menos costoso y complejo tratar estas aguas con las que indirectamente se abastece la planta de tratamiento para posteriormente distribuir a toda la ciudad el líquido vital.

## **CAPÍTULO II**

### **2. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

#### **2.1 Objetivo General**

- Efectuar el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la parroquia “Vuelta Larga” del cantón Esmeraldas.

#### **2.2 Objetivos Específicos**

- Realizar la caracterización física, química y biológica de las aguas residuales de la parroquia “Vuelta Larga” del cantón Esmeraldas tomando en consideración las normas citadas por el TULSMA Acuerdo Ministerial 387 del 4 de Noviembre de 2015. Tabla 9, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.
- Establecer la metodología más adecuada para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales en base a los resultados obtenidos de la caracterización efectuada.
- Ejecutar la tratabilidad del agua con la finalidad de comprender que tratamiento es el más apropiado a elaborar.
- Desarrollar los cálculos de ingeniería del sistema a diseñar en función de la tratabilidad del agua.

- Validar técnica y económicamente el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la parroquia “ Vuelta Larga” del cantón Esmeraldas de acuerdo a la Norma TULSMA, Acuerdo Ministerial 387 del 4 de Noviembre de 2015. Tabla 9, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

## CAPÍTULO III

### 3. ESTUDIO TÉCNICO PRELIMINAR

#### 3.1 Localización del Proyecto

El diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales se realizará en la provincia de Esmeraldas en la parroquia Vuelta Larga ubicada al noroeste del país en la provincia de Esmeraldas, en la parte oeste del cantón Esmeraldas limita al norte con el cantón Esmeraldas, al sur con la parroquia de Tabiazo, al este con las parroquias Tachina y San Mateo y oeste con la parroquia Tonsupa, cuenta con las siguientes coordenadas 0°55'15.50"N latitud y 79°41'32.37"O longitud (GAD MUNICIPAL VUELTA LARGA ESMERALDAS).

##### 3.1.1 Factores Climáticos

**Tabla 1-3** Factores Climáticos

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
Precipitación	Promedio anual 1000mm
Temperatura	21°C a 28°C
Pisos Climáticos	Tropical mega térmico seco / Tropical mega térmico semi-húmedo
Humedad	Humedad seca de un 40%
Altitud	100-150 msnm

**Fuente:** Plan de desarrollo de ordenamiento territorial

**Elaboración:** Equipo consultor 2015



**Figura 2-3** Localización del proyecto  
*Elaborado por, VALDEZ, Saul, 2017*

## 3.2 Ingeniería del Proyecto

### 3.2.1 Agua Residual

Las aguas residuales son aquellas cuya composición está totalmente alterada debido a la adición de una gran cantidad de contaminantes, esto como consecuencia de las descargas permanentes de efluentes sin tratar de tipo doméstico, industrial, agrícola en fin de cualquier uso las cuales necesitan de un tratamiento previo antes de ser vertidas a un cuerpo natural de agua dulce.



**Figura 3-3** Descarga de Aguas Residuales  
**Fuente:** Valdez, S., 2017

#### 3.2.1.1 Clasificación de las Aguas Residuales

De acuerdo a su procedencia y composición se clasifican en:

- Aguas de Escorrentía Pluvial o Blancas

Son las aguas de lluvia las cuales no son puras, debido a que son perjudicas por la contaminación atmosférica y por los arrastres de la suciedad depositada en calles, techos, etc.

- Aguas Domésticas o Negras

Son aquellas aguas residuales derivadas de viviendas las mismas que son generadas principalmente por las actividades domésticas.

- Aguas Industriales

Son aquellas aguas residuales propagadas desde zonas dedicadas a desarrollar actividades industriales, las cuales difieren en su composición de acuerdo a la actividad industrial que se haga, las mismas contienen materia orgánica e inorgánica, sustancias tóxicas y corrosivas.

- Aguas Agrícolas y Ganaderas

Son aquellas aguas cuya procedencia es de labores agrícolas, conteniendo excrementos sólidos, líquidos, pesticidas, fertilizantes y abono que son empleados en la agricultura.

- Aguas Residuales Combinadas

Son aguas originadas por la unión de aguas residuales domésticas, pluviales e industriales.

### ***3.2.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES***

Las aguas residuales domésticas tienen características físicas, químicas y biológicas en donde cada parámetro es estudiado a fondo con la finalidad de obtener una caracterización completa la cual nos permite saber el grado de contaminación de los efluentes.

#### **❖ CARACTERÍSTICAS FÍSICAS**

Las características físicas más importantes de las aguas residuales son:



- Color

El color es un parámetro muy característico de las aguas residuales el cual varía del beige claro al negro esto por la presencia de materia orgánica descompuesta y elementos inorgánicos en alta concentración.

- Olor

Se da por la presencia de gases como el ácido sulfhídrico o compuestos amoniacales que son generados por la descomposición de materia orgánica anaerobia presentes en el efluente.

- Temperatura

Este parámetro va a depender del tipo de agua residual que esta sea, por lo general siempre es más alta que el cuerpo de agua dulce ya que esta proviene de las diferentes actividades humanas ya sean domésticas o industriales.

- Sólidos

Son la proporción de material sólido que posee una muestra de agua los cuales se clasifican en sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos sedimentables los mismos producen la turbidez elevada y favorecen la presencia de condiciones anaerobias.

#### a) Sólidos Disueltos

Son partículas diminutas las cuales no se pueden remover del agua a través de un proceso de filtración y necesitan de otros procedimientos para ser eliminadas del efluente.

#### b) Sólidos Suspendidos

Son aquellos sólidos que son conservados por un filtro de fibra de vidrio que después se evapora a 103-105°C hasta obtener un peso constante.

#### c) Sólidos Sedimentables

Son los sólidos que por acción de la gravedad precipitan en el fondo de un recipiente, dicho proceso se da un régimen sin turbulencia.

### ❖ CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Las características químicas más importantes de las aguas residuales de acuerdo a sus componentes orgánicos, inorgánicos y gaseosos son:

- pH

El potencial de hidrógeno mide la acidez o basicidad de una sustancia, el mismo indica la concentración de iones hidronio mediante el cual se puede asegurar que a un valor mayor de pH hay una menor concentración de hidrógeno y menor acidez de la solución.

El pH es un parámetro relevante a nivel industrial el cual se lo determina mediante aparatos digitales o indicadores.

Los datos de pH están contenidos en una escala de 0 a 14, cuyo valor medio es 7 al que se denomina neutro, los valores que están por debajo de 7 indican una solución ácida y los valores por encima de 14 indican una solución básica.

- Acidez

Se refiere a su capacidad para reaccionar con una base fuerte hasta un determinado valor de pH. Este parámetro nos ayuda a conocer las sustancias ácidas que estén presentes en una muestra de agua, de manera que se pueda neutralizar y acondicionar la solución estudiada.

Su escala es similar a la del pH teniendo como una solución muy acida valores de 0, 1, 2, 3,4 y mesurado las que están en rango de 5-6.

- Alcalinidad

La alcalinidad del agua es la capacidad para neutralizar ácidos, en donde se da la presencia de carbonatos y bicarbonatos los cuales son captados como indicadores de dichas especies iónicas.

La alcalinidad es hallada mediante una titulación ocupando una solución estándar de un ácido mineral fuerte a los puntos sucesivos de equivalencia del bicarbonato y el ácido carbónico ( $\text{pH} \approx 4,5-4,3$ ) en donde se utiliza varios reactivos los cuales son indicadores como anaranjado de metilo y verde bromocresol.

- Dureza

Es la concentración de iones metálicos como  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  que hay en una determinada cantidad de agua, la cual pertenece a la sumatoria de concentraciones de cationes metálicos salvo los metales alcalinos y el ión hidrógeno.

El agua se vuelve dura cuando entra en contacto con formaciones geológicas las cuales contienen muchos minerales que son bastante solventes integrándose al agua de manera rápida.

La dureza se determina por titulaciones o indicadores adecuados para dicho proceso de laboratorio.

- Nitrógeno

Se encuentra presente en el efluente en forma de urea, compuestos proteínicos y como amoníaco o nitrógeno orgánico el cual es muy importante para que se dé el proceso de reproducción de microorganismos consumiendo notablemente oxígeno del efluente.

Conforme se va normalizando el agua residual por el diferente tratamiento que se le puede dar se producen nitritos y nitratos en donde la presencia de nitratos es un

indicador clave de que el residuo se ha consolidado con respecto a la demanda de oxígeno.

El nitrógeno se lo calcula a través de equipos electrónicos como es el espectrofotómetro.

- Fósforo

El fósforo es uno de los principales constituyentes de los detergentes sintéticos y se encuentra en el agua residual en forma de fosfatos y derivados. El mismo es importante también en el desarrollo de microorganismos ya que coopera en la estabilización de la materia orgánica presente en el efluente.

El contenido de fósforo en aguas residuales es adverso porque ocasiona una desmesurada producción de algas y plantas. Este elemento es calculado a través de un espectrofotómetro.

- DBO

Es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable existente en un agua residual en condiciones aeróbicas y es un parámetro muy relevante en la caracterización de aguas residuales porque se puede tener una idea preliminar de que tan contaminada está el efluente.

Para obtener el valor de este parámetro se necesitan de 5 días a una temperatura constante debido a que en ese lapso de tiempo se produce una biodegradación completa obteniendo valores precisos de medición.

Mientras más alto sea el valor del DBO más contaminada estará el agua residual teniendo los siguientes valores como referencia:

- Pura: entre 2 y 20 mg/l
- Poco contaminada entre 20 y 100 mg/l

- Medianamente contaminada entre 100 y 500 mg/l
- Muy contaminada entre 500 y 3.000 mg/l
- Extremadamente contaminada entre 3.000 y 15.000 mg
- DQO

Es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica presente en un efluente expresado en mg/L. Para calcular la DQO solo se necesita 3 horas aproximadamente ya que se lo realiza a través de una reacción de manera que se pueden tener resultados de forma más rápida de lo que se requiere en la DBO.

Este parámetro nos ayuda también a comprender que tan contaminada está el efluente el cual va a depender ampliamente del tipo de agua ya sea doméstica, industrial u otra. En el análisis de DQO se obtiene una oxidación completa de la muestra, ya que todo el material orgánico, biodegradable y no biodegradable, es oxidado químicamente.

- Relación DBO<sub>5</sub>/DQO

La relación del DBO<sub>5</sub> con respecto a la DQO es muy importante ya que permite conocer el índice de biodegradabilidad que tiene una muestra de agua con lo que se elegirá el respectivo tratamiento, si se tiene un valor de DBO<sub>5</sub>/DQO mayor a 0,6 el agua es muy biodegradable, cuando es menor a 0,2 pues se trata de un agua muy poco biodegradable tal como se indica en la siguiente tabla:

**Tabla 2-3** Consideraciones en el tratamiento de aguas residuales

DBO <sub>5</sub> /DQO	BIODEGRADABILIDAD DEL AGUA RESIDUAL
0,6	Alta
0,3 – 0,6	Normal
0,3	Baja

Fuente: (Metcalf, y otros, 1995)

- Grasas y Aceites

Son aquellas sustancias de composición lipídica, las mismas deben ser eliminadas del agua residual ya que puede producir compuestos tóxicos entorpeciendo el desarrollo de la vida acuática.

Las grasas y aceites son determinadas a través de un proceso de extracción líquido-líquido en donde se usa como solvente al propano ya que es el más eficiente.

### ❖ CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS

- Coliformes Totales

Son bacterias Gram negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35 a 37 ° C y producen ácido y gas (CO<sub>2</sub>) en 24 h. Entre ellas se encuentran *Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*.

Su determinación se la efectúa a través de cultivos que son sometidos por varios días a una estufa con una temperatura constante de tal forma que con el transcurrir de los días se reproduzcan y se pueda tener el reporte de este ensayo microbiológico.

- Coliformes Fecales

Son organismos que se encuentran naturalmente en las heces de seres humanos y animales, su determinación es similar a la de los coliformes totales ya que también se la hace a través de cultivos, su presencia en fuentes y cuerpos de agua se utiliza como indicador de contaminación biológica. (García et al, Instituto Tecnológico de Canarias S.A., 2006 págs. 21-24)

#### **3.2.1.3 Tratamiento de Aguas Residuales**

El tratamiento de aguas residuales consiste en un conjunto de operaciones físicas, químicas y biológicas cuya finalidad es quitar la mayor cantidad de contaminantes

previo a su descarga, de manera que cumpla con los parámetros legales existentes exigidos por parte del ministerio de ambiente y puedan ser asimilados de forma natural por los cauces receptores.

La elección del sistema de tratamiento depende de una serie de factores, dentro de los cuales se incluyen:

- Característica del agua residual: biodegradabilidad, pH, sólidos totales, sólidos disueltos, etc.
- Costos y disponibilidad de lotes
- Tecnologías disponibles

Se clasifican en: pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario.

### **Pretratamiento**

El pretratamiento consiste en incorporar al efluente a varias operaciones físicas y mecánicas, en donde se logre retirar del agua residual una considerable cantidad de materias evitando así problemas en las fases consecutivas del tratamiento.

En el pretratamiento se encuentran operaciones como separación de grandes sólidos, desbaste, tamizado y desarenado.

- **Separación de grandes sólidos:** Para llevar a cabo esta operación se utiliza un pozo de gruesos que permite la separación de sólidos de gran tamaño, el mismo se sitúa en el inicio del sistema de tratamiento.

- **Desbaste:** Tiene la finalidad de quitar los sólidos de pequeño y mediano tamaño los mismos que pueden ocasionar daños graves en los equipos de todo el sistema.
- **Tamizado:** El propósito de esta operación es disminuir el contenido de sólidos en suspensión de los efluentes, a través de su filtración mediante un soporte delgado proporcionado de orificios de paso.
- **Desarenado:** Se da la eliminación de materias pesadas de tamaño superior a 0,2 mm, de tal forma que se pueda eludir que estas materias sedimenten en los canales y conducciones protegiendo los equipos de la instalación. (ANQUE Asociación Nacional de Químicos Españoles, 1994)

### Tratamiento Primario

Es aquel proceso de tipo físico y/o químicos, cuya finalidad es eliminar el contenido de sólidos presentes en las aguas residuales.

**Tabla 3-3** Tratamientos Físicos

Procesos Físicos	Objetivo
Desbaste	Remoción de sólidos gruesos (rejas, cribas o tamices).
Desarenado	Separación de partículas sólidas pequeñas de alta densidad.
Sedimentación	Remoción de sólidos en suspensión entre 1 mm – 1m.
Flotación	Remoción de grasas y aceites (arrastre por burbujas de aire)

**Fuente:** Manual de Tecnología Sostenible en el Tratamiento de Aguas Residuales.

**Tabla 4-3** Tratamientos Físico - Químico

Procesos Químicos	Objetivo



Coagulación/Floculación	Mejora la sedimentación de partículas en suspensión de sistemas coloidales, alterando las propiedades físico-químicas de las partículas, acelerando su decantación. Remoción de sólidos gruesos (rejas, cribas o tamices).
-------------------------	--

**Fuente:** Manual de Tecnología Sostenible en el Tratamiento de Aguas Residuales.

## Tratamiento Secundario

En este proceso se lleva a cabo la degradación de la materia orgánica presente en el efluente, a través de un proceso biológico con la finalidad de mover la materia orgánica contaminante, es decir disminuir la demanda de oxígeno en el agua residual.

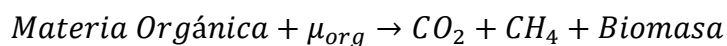
- Sistema de Tratamiento Biológico Aeróbico

El tratamiento biológico aeróbico se da mediante la descomposición de la materia orgánica por microorganismos aeróbicos en dióxido de carbono, moléculas de agua y biomasa microbiana:



- Sistema de Tratamiento Biológico Anaeróbico

El tratamiento biológico anaeróbico se da a través de una serie de reacciones bioquímicas que cambian la materia orgánica contaminante en biogás, en donde los elementos primordiales son el metano  $CH_4$  y  $CO_2$ , entre otros ( $H_2S$  e  $H_2$ ). (Navia, et al., 2002)



## Tratamiento Terciario

En el tratamiento terciario se extraen compuestos específicos que no han sido retirados por los sistemas primarios y secundarios, mediante la aplicación de tecnologías que pueden ser físicos, químicos y/o biológicos. (Vidal et al págs. 33-37).



**Figura 4-3** Tratamiento Terciario: a) ozonización; b) filtro de carbón activado  
**Fuente:** Metcalf y Eddy, 1995

## Tratamiento y Disposición de Lodos

El tratamiento y disposición de lodos es un factor relevante ya que en un sistema de tratamiento de aguas residuales la producción de lodo es ineludible, por lo tanto dicho proceso se lo debe considerar dentro de todo el proceso de tratamiento.

Existen varios procesos para el tratamiento de estos lodos producidos como la digestión anaerobia, la digestión aerobia, el composteo mezclado con residuos celulósicos, la estabilización con cal y la incineración.

Pero sin duda alguna una opción tentativa para la disposición final es el aprovecharlos como abono, siempre y cuando cumplan con la normativa cada uno de los respectivos parámetros asociada a la producción de biosólidos, nombre como se les conoce a los lodos tratados y acondicionados para su utilización en tierras.

## Proceso de Lodos Activados

Se lleva a cabo en un tanque, el mismo tiene varios dispositivos que proporcionan aeración, mezclado y sedimentación. Dicho proceso debe contar con al menos dos tanques que trabajen de manera alternada.

En los procesos de lodos activados, los microorganismos se encuentran mezclados con la materia orgánica que digerirán para reproducirse y sobrevivir. Cuando la masa de microorganismo crece y es mezclada con la agitación introducida al tanque por medios mecánicos o de inyección de aire, ésta tiende a agruparse (floculación) para formar una masa activa de microorganismos denominada lodo activado. (Noyola, y otros, 2013 págs. 13-19)



**Figura 5-3** Lodos Activados: a) Planta de tratamiento Santa Rosa Jáuregui, México; b) Planta de tratamiento Coyoacán, México

**Fuente:** Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales

### 3.2.2 Agentes Naturales Empleados Como Alternativa para el Tratamiento de Aguas Residuales

Los agentes naturales son sustancias solubles en agua, derivados de materiales de procedencia vegetal o animal que intervienen de forma semejante a los coagulantes químicos, acumulando las partículas en suspensión que tiene el efluente, permitiendo su sedimentación y disminuyendo la turbidez inicial de la misma. (García, 2007)

Pueden tener rendimientos similares a los de origen sintético y son considerados amigables con el ecosistema debido a su biodegradabilidad y a su mínima o nula toxicidad, además de que el tratamiento de los lodos que sean producidos en todo el proceso de tratamiento de aguas residuales sea menos costoso y complejo, utilizándolos como abono en el sector agrícola. Convirtiéndolos en una alternativa viable desde el punto de vista ambiental.

El empleo de coagulantes naturales, extraídos a partir de microorganismos, tejidos de plantas o animales son biodegradables, ya que forman una menor cantidad de lodos, generando cantidades que van entre el 20-30 %, mucho menores a las generadas por el empleo de agentes coagulantes químicos. Algunos de los coagulantes de origen natural son: Almidones, polisacáridos naturales, *Opuntia ficus-indica* (tuna), semillas de Nirmali (*Strychnos potatorum*), Moringa oleífera, taninos, y cactus. (Sciban, y otros, 2009)

#### 3.2.2.1 *Opuntia ficus-indica* (TUNA)



**Figura 6-3** Tuna *Opuntia ficus-indica*

**Fuente:** <http://intainforma.inta.gov.ar/?p=24580>

Tuna es el nombre de este cactus que se le da en diferentes países como: Perú, Chile, Argentina, México, Ecuador y Colombia a la planta científicamente designada *Opuntia ficus-indica*, derivada de la familia Cactaceae. Con las características morfológicas y fisiológicas que presenta este vegetal, puede resistir condiciones ambientales desde

escasa precipitación hasta altas y bajas temperaturas. Además, no requiere de mayores cuidados en su cultivo.

Tiene diferentes aplicaciones en la industria, lo que hace muy importante su cultivo y explotación. (Estudio bromatológico del cladodio del nopal(*Opuntia Ficus -indica*) para el consumo humano, 2007 págs. 1,41-45,73).

En un estudio efectuado en Cuba se comparó la capacidad clarificante del mucílago de la tuna, con otros agentes tradicionales como el sulfato de aluminio y se pudo llegar a la conclusión que el mucílago de *Opuntia ficus-indica* (TUNA) tienen una conducta similar al sulfato de aluminio para clarificar el agua. (López, 2000).

### 3.2.2.2 Almidón



**Figura 7-3** Almidón de yuca

**Fuente:** <http://www.starchtechnology.org>

La yuca se da en condiciones tropicales: en los trópicos húmedos y cálidos de tierras bajas, en los trópicos de altitud media y en los subtrópicos con inviernos fríos y lluvias de verano, la misma tiene la característica de reproducirse en suelos ácidos de escasa fertilidad. La yuca no solo es un alimento para el consumo humano, también tiene múltiples aplicaciones industriales lo que la hace realmente interesante una de ellas es la extracción del almidón el cual es empleado en varios procesos industriales. (Montoya Henao pág. 7).

El almidón de la yuca se clasifica en agrio y dulce, el primero soporta un proceso de fermentación el cual es ideal para el consumo humano el segundo no se fermenta y es el que se emplea a nivel industrial.

Una de las aplicaciones mas interesantes del el almidón es que le disminuye sedimentacion al agua y con él se alcanza una mejor respuesta al proceso de clarifiación de la misma. Para producirlo se lleva a cabo la separación de la cáscara, después el mismo se muele para luego ser triturado, por último se retira el producto a una base húmeda y se deja evaporar. (Campos, y otros pág. 39).

### 3.2.2.3 *Semillas de Moringa*



**Figura 8-3** Semillas de moringa  
**Fuente:** <https://colmoringa.com>

Las semillas de moringa son especies vegetales que tienen múltiples usos debido a su alto contenido de nutrientes procedente del continente asiático, esta planta crece en cualquier condición ambiental.

Una de las aplicaciones de estas semillas más importante es sin duda el empleo de estas como coagulante natural para aguas turbias, ya que estas contienen proteínas que se adhieren a los contaminantes del efluente separándolas de estas al sedimentarse en forma de sólidos quitando también en gran cantidad a las bacterias presentes.



Para su obtención es necesario someter a las semillas a un proceso de secado luego triturarlas mediante un molino de manera que se pueda obtener un polvo de color blanco el cual va a hacer añadido al agua y respectivamente agitado para que se dé el proceso de coagulación y floculación.

El cultivo de estas semillas cada vez se va afirmando en los diferentes países del mundo por todas sus aplicaciones industriales que tiene de tal manera que en un futuro se pueda reemplazar en gran manera a los productos químicos disminuyendo así los niveles de contaminación que se tiene actualmente.

#### 3.2.2.4 *Cassia Obtusifolia*



**Figura 9-3** Cassia Obtusifolia

**Fuente:** <https://centerofthewebb.ecrater.com/>

El nombre de cassia procede de los antiguos griegos, ellos lo empleaban a una serie de plantas con propiedades terapéuticas. El epíteto fístula procede del latín que significa “tubo”, en alusión a la forma de los frutos.

Se trata de un árbol cuyas dimensiones son 5 m de altura por 30 cm de diámetro, tiene una corteza gris verdoso, hojas compuestas, pinnadas en donde sus flores son amarillas organizadas en ramilletes colgantes. Sus frutos son vainas alargadas, delgadas, cilíndricas, negras, cuyo largo es de 50cm. (Sánchez J, 2008 p. 29)

La cassia Obtusifolia es una planta que procede de la familia Fabaceae es nativa del centro y sur de América, sus diferentes propiedades ha permitido que se den muchas investigaciones de su uso, uno de ellos es utilizar el extracto de dicha planta para

obtener un coagulante natural, el cual es biodegradable generando lodos menos voluminosos y tóxicos.

El extracto sacado de la planta es secado para luego ser molido obteniéndose un polvo amarillo el cual es empleado como coagulante en diferentes concentraciones. (Sánchez J, 2008 p. 30)

#### 3.2.2.5 *Jatropha Curcas*



**Figura 10-3** *Jatropha Curcas*

**Fuente:** <http://www.jatropha-bio-fuel.com/>

Es un árbol procedente de México cuya altura es de 5 m, crece en sectores que tengan una precipitación baja y en suelos pobres.

Las semillas tienen un aceite el cual no es apto para el consumo humano y puede ser empleado para producir diferentes productos como biodiesel, jabones, combustible de lámpara, colorantes, coagulantes, desinfectantes, etc.

Para obtener el coagulante a partir de esta planta se utiliza las semillas y residuos que quedan luego del proceso de extracción de aceites los cuales poseen principios activos que manifiestan una elevada actividad coagulante.

De acuerdo a los estudios efectuados a esta planta cada uno de los constituyentes activos de las semillas son proteínas catiónicas solubles que funcionan de manera muy efectiva en la clarificación de aguas residuales. (Z. Abidin, 2013 pp. 319-323)

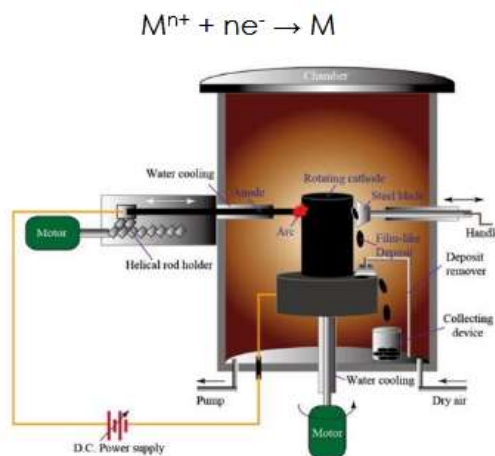


### 3.2.3 Nuevas Tecnologías en el Tratamiento de Aguas Residuales

Una de las nuevas tecnologías empleados en la actualidad para la depuración de aguas residuales es el tratamiento electroquímico el cual utiliza el electrón como reactivo siendo la fuerza impulsora en el tratamiento, en reemplazo de los agentes químicos convencionales.

#### 3.2.3.1 Electrodeposición

La electrodeposición es aquella operación que permite recuperar iones metálicos presentes en el efluente, se fundamenta en la deposición en el cátodo según el procedimiento de reducción:



**Figura 11-3** Proceso de electrodeposición

**Fuente:** <http://www.um.es/documents/>

Dicho procedimiento se desarrolla mediante el empleo de disoluciones concentradas usando un reactor abierto ya que posibilita una mejor restauración del metal eliminando totalmente estos agentes tóxicos que son un problema relevante.

Proceso:

- Los elementos se ingresan en una solución que se la conoce como electrolito la misma tiene en su composición una o más sales de metal disueltas.

- Luego se produce un potencial eléctrico en el ánodo y en el cátodo a través de una fuente de alimentación de corriente continua.
- Los iones metálicos desaparecen de la disolución ya que en el cátodo se da una reducción entre la solución y el cátodo de la interfase.
- Esto hace que no haya un equilibrio de cationes en la disolución, lo cual genera una demasía de cationes los cuales se unen a los átomos del metal del cátodo produciendo la sal que se disuelve dejando como resultado el metal restante al descubierto y renovando los iones sedimentados.
- El cátodo se convierte en un sumidero de cationes metálicos y en un productor de aniones entretanto que en el ánodo se da lo contrario.
- La medida de los dos está ordenada por la constante de disociación y las leyes de equilibrio lo que implica que la velocidad a la que se diluye el ánodo es similar a la velocidad a la que el cátodo se cubre.
- La corriente eléctrica que circula no es compuesta de electrones que se transportan entre los electrodos en los aniones salvo que un electrón del cátodo disminuirá un catión metálico el cual se va a depositar.
- Lo que ocasionará que no haya un equilibrio en la dilución en donde una molécula de electrolito se disociará, si el ánodo está lejos esta se combinará de nuevo pero si no es así va a reaccionar cediendo un electrón produciendo una sal soluble la cual se separará. (htt).

### **3.2.3.2 Electroflotación**

Es un proceso sencillo en donde los agentes contaminantes flotan en la superficie del efluente adsorbido encima de diminutas burbujas de oxígeno e hidrógeno producidas en el ánodo y cátodo en el procedimiento de degradación del efluente.

En la electroflotación se hace pasar de una placa de hierro a otra el purín mientras que se inyecta una corriente de baja tensión entre las placas en donde los contaminantes se

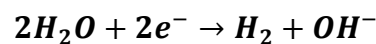
juntan a pequeñas burbujas de hidrógeno y oxígeno, las mismas son llevadas hacia la superficie, en donde el hidrógeno y el oxígeno se producen por electrólisis del agua.

La dimensión de las burbujas producidas es muy importante en la electroflotación ya que de esta va a depender la eficacia de dicho proceso, donde es mucho más ventajoso tener burbujas diminutas debido a que otorgan una superior superficie de contacto en la adsorción de las partículas a retirar. Las dimensiones de las burbujas producidas están entre 15 y 45  $\mu\text{m}$ .

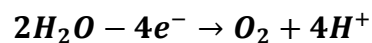


**Figura 12-3** Proceso de electroflotación  
**Fuente:** <http://www.basqueresearch.com/>

En el cátodo se da la reducción:



En el ánodo se da la oxidación:



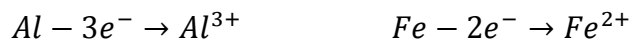
### 3.2.3.3 Electrocoagulación

Es aquel proceso en donde se incluye la obtención del coagulante *in situ* diluyendo electrolíticamente ánodos de aluminio o hierro para crear cationes  $Al^{+3}$ ,  $Fe^{+2}$ .

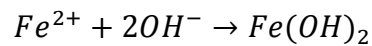
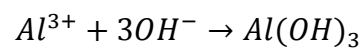
El proceso de electrocoagulación es apto para extraer sólidos en suspensión, aceites y grasas, y demás contaminantes en las aguas provenientes de zonas industriales, alimenticias entre otras.

El mismo es un procedimiento difícil ya que relaciona varias acciones físicas y químicas, y en el que los coagulantes se producen “insitu” por disolución electroquímica de electrodos de sacrificio de Fe o Al que componen el ánodo.

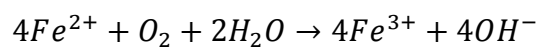
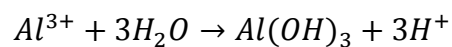
Ánodo se da la oxidación



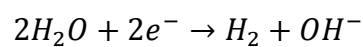
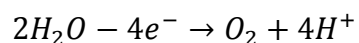
En condiciones alcalinas:

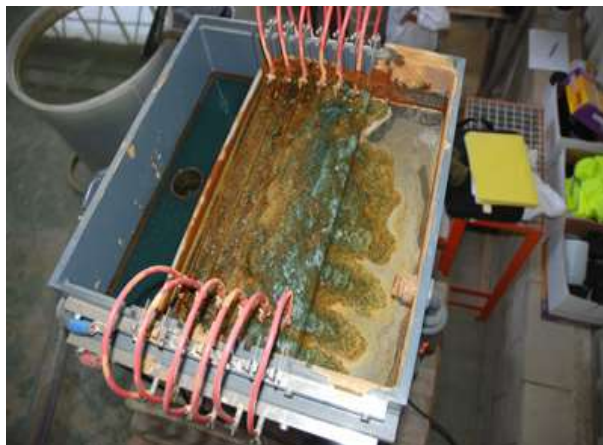


En condiciones ácidas:



Cátodo se da la reducción





**Figura 13-3** Proceso de electrocoagulación  
**Fuente:** <http://www.electrocoagulacion.com/>

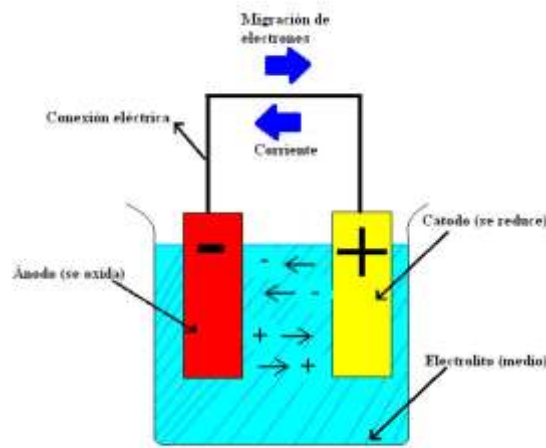
Los ánodos que son utilizados se les conocen como ánodos de castigo debido a que se disipan en el procedimiento. Mientras que en el cátodo se genera hidrógeno a partir de los protones el cual se suelta como diminutas burbujas que se dirigen hacia la superficie.

Una de las notables ventajas de dicho proceso es que se produce una mejor eficacia de los cationes procedentes del aluminio y hierro producidos frente a los originarios de agentes químicos como alumbre o pac disminuyendo costos y una menor producción de sales y residuos.

#### ***3.2.3.4 Electrooxidación***

La Electrooxidación consiste en usar un campo eléctrico entre ánodo y cátodo, transitando el efluente en los mismos en donde se da la oxidación total o parcial de la materia orgánica presente en el agua residual. Los contaminantes se pueden oxidar en la superficie del ánodo o por la generación de oxidantes en el medio (ozono, radicales, peróxidos, hipoclorito, otros).

Esta tecnología es apropiada para eliminar color, olor, materia orgánica, compuestos químicos como fenoles y poli fenoles y otros contaminantes más. (Pascual del Riquelme, 2016).



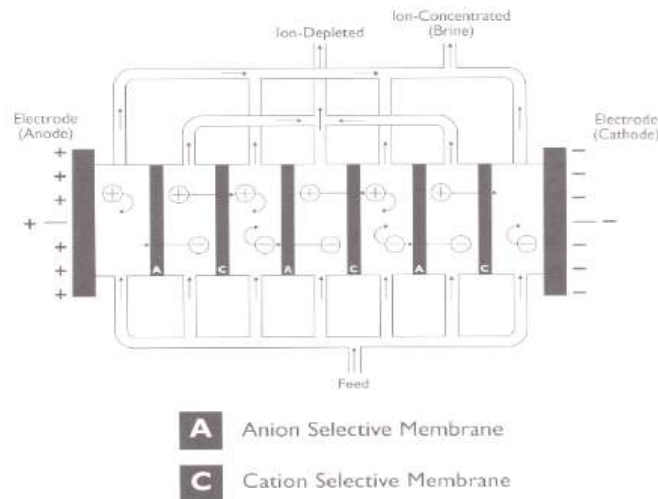
**Figura 14-3** Proceso de electrooxidación  
**Fuente:** <https://mantenancela.blogspot.com>.

La oxidación se clasifica en:

- **Directas:** Aquí se da directamente la oxidación del agente contaminante a través de la producción de oxígeno activo fisisorbido (oxígeno en la red del óxido de metal del ánodo  $MO_{x+1}$ ) el mismo que ocasiona la combustión total de la materia orgánica.
- **Indirectas:** Aquí no sucede la oxidación la superficie del ánodo como en la directa, en el ánodo se producen agentes oxidantes tales como cloro, ozono, peróxido de hidrógeno, los cuales son procedentes de la oxidación de los cloruros que se encuentran en el agua, los cuales son los principales responsables de la oxidación de la materia orgánica. (htt1)

### 3.2.3.5 Electrodialisis

La electrodialisis es un proceso de separación entre átomos y moléculas cargadas eléctricamente., en donde las especies iónicas en solución, orgánicas, ácidos, bases o sales son conducidas mediante membranas iónicas selectivas a través del efecto de un campo eléctrico.



**Figura 15-3** Proceso de electrodiálisis  
**Fuente:** (OSMONICS, 1997)

La colocación alternativa de las membranas posibilita establecer dos tipos de divisiones por los cuales el efluente va a circular: una primera división en el que se liberan los iones originándose en su seno agua desmineralizada, y otra correspondiente a la que admite y concentra los iones, transformando el agua en una corriente de concentrado.

La celda se compone de un módulo el cual tiene membranas colocadas de forma vertical y distanciada entre sí por espaciadores de flujo. El módulo está conformado por dos celdas las mismas que contienen una membrana catiónica, una membrana aniónica, un espaciador de flujo diluido y un espaciador de flujo de concentrado.

En donde cada módulo tiene en su interior dos electrodos los cuales se caracterizan por tener divisiones con la finalidad de favorecer un adecuado ensamblaje y disponer el paso de la disolución de limpieza.

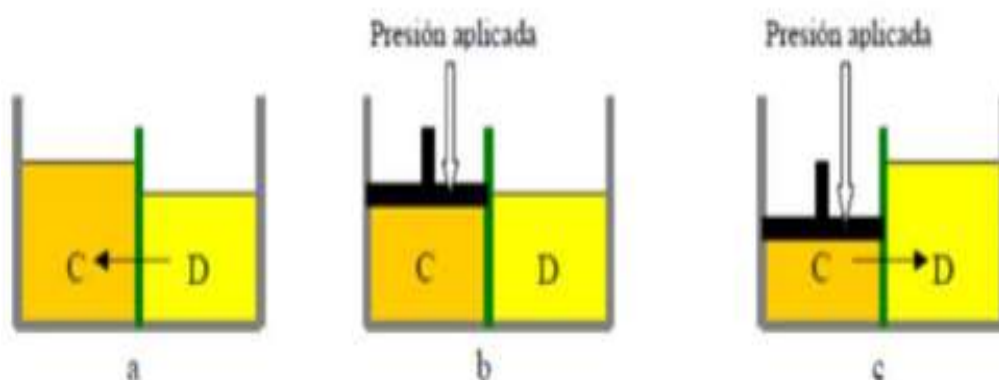
Los electrodos comprenden puntos de aplicación de la diferencia de potencial. Cuyos componentes están adecuados para resistir las condiciones violentas que produce las sustancias oxidantes.

Precauciones que deben ser tomadas ya que en el ánodo se puede obtener cloro, ozono y un medio acidificado, mientras que en el cátodo, donde se pueden colocar metales.

Por estas razones es necesario realizar una limpieza que disminuya el resultado de estos agentes a través de una disolución de limpieza. (OSMONICS, 1997)

### 3.2.3.6 Ósmosis Inversa

La ósmosis inversa es un proceso de separación por filtración tangencial el cual posibilita que se dé la retención y concentración de las sustancias de pequeño tamaño, incluidos iones atómicos, esto mediante el paso del agua por una membrana semipermeable. Todo lo dicho anteriormente se realiza a través del empleo de un gradiente de presión mayor al gradiente de presión osmótica del efluente a tratar. Dicho procedimiento tiene una entrada de agua y dos salidas.



**Figura 16-3** (a) Proceso de ósmosis, (b) Proceso de ósmosis inversa. La figura b representa la igualdad entre la presión osmótica y la presión externa aplicada, no hay flujo de solvente. La membrana está representada por la raya vertical verde que separa las soluciones (D).

**Fuente:** (OSMONICS, 1997)

Estas salidas se llaman permeado y rechazo. El primero es el caudal que pasa las membranas de ósmosis ya libre de sales y compuestos orgánicos. El segundo es el que tiene casi todos los compuestos que no deja pasar la membrana, encontrándose a una concentración entre 2-8 veces superior a la solución de alimentación esto va depender del grado de recuperación de agua impuesto al sistema y que es función de la presión de trabajo, caudal, temperatura, salinidad de la



alimentación y regulación del retorno, principalmente, para una superficie de membrana determinada. (Ibáñez, y otros, 1997).

### **3.2.4 Parámetros del diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales**

El sistema de tratamiento de aguas residuales está conformado por varias operaciones las cuales serán estudiadas individualmente como se describe a continuación:

#### ***3.2.4.1 Periodo de tiempo***

De acuerdo a la norma INEN 005-9-1 (1992) para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales se debe estimar un tiempo de 20 a 30 años.

#### ***3.2.4.2 Población de diseño***

Es un parámetro necesario al momento de realizar los cálculos para el caudal de diseño del lugar, además es el número del total de personas a los que se va a realizar el proyecto.

#### ***3.2.4.3 Población actual***

Es el número del total de personas que viven en el lugar según el último censo realizado en el año 2010 por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). En donde la parroquia vuelta larga del cantón Esmeraldas tiene 2997 habitantes con una tasa de crecimiento anual de 3,7%.

#### ***3.2.4.4 Población futura***

Es la evaluación de la proyección a futuro de la población que se está realizando el estudio, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$P_f = P_a * \left(1 + \frac{r}{100}\right)^n$$

Dónde:

P<sub>f</sub>: Población futura (hab)

P<sub>a</sub>: Población actual (hab)

r: tasa de crecimiento en %

n=(t<sub>f</sub>-t<sub>a</sub>) intervalo de tiempo en años

### 3.2.4.5 Determinación del caudal

- **Cálculo del caudal medio teórico**

El caudal medio teórico es aquel que nos permite realizar la determinación de la capacidad de una planta de tratamiento, siendo necesario para los procesos posteriores del dimensionamiento, se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$Q_{mt} = \frac{CR(Dot)(Pf)}{86400}$$

Dónde:

P<sub>f</sub>: Población futura (hab)

Dot: Dotación de Agua Potable (L/hab. Día)

CR: Coeficiente de retorno

Q<sub>mt</sub>: Caudal medio teórico (L/s)

- **Cálculo del coeficiente de mayorización**

La ecuación de harmon es útil si el número de habitantes es mayor a 1000, la cual es necesaria para obtener el caudal máximo teórico, también se lo conoce como coeficiente de punta, se calcula a través la siguiente fórmula.

Ecuación 3

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{Pf}{1000}}}$$

Dónde:

$P_f$ : Población futura (hab)

M: Coeficiente de mayorización o simultaneidad

- **Cálculo del caudal máximo teórico**

Este parámetro es relevante en el desarrollo del presente estudio de elementos que tengan un evidente tiempo de retención como puede ser en el caso de tanques de homogenización, se calcula mediante la siguiente fórmula.

Ecuación 4

$$Q_{max.t} = M(Q_{mt})$$

Dónde:

$Q_{max.t}$ : Caudal máximo teórico (L/s)

M: Coeficiente de mayorización o simultaneidad

$Q_{mt}$ : Caudal medio teórico (L/s)

- **Cálculo del caudal de diseño**

Los caudales máximos y medio de diseño son aquellos con los que se dimensionaran los diferentes equipos que contenga todo el sistema de tratamiento de aguas residuales obteniendo longitudes reales, se calcula a través de la siguiente fórmula.

- Caudal medio de diseño

Ecuación 5

$$Q = Q_{mt} + Q_{inf}$$

Dónde:

Q: caudal medio de diseño (L/s)

Q<sub>mt</sub>: Caudal medio teórico (L/s)

Q<sub>inf</sub>: Caudal de infiltración (L/s)

- Caudal máximo de diseño

Ecuación 6

$$Q = Q_{max.t} + Q_{inf}$$

Dónde:

Q<sub>M</sub>: Caudal máximo de diseño (L/s)

Q<sub>max.t</sub>: Caudal máximo teórico (L/s)

Q<sub>inf</sub>: Caudal de infiltración (L/s)

### **3.2.4.6 Canal de ingreso**

Es aquel que se utiliza para el transporte de fluidos a un determinado lugar, el cual está conformado por vertederos, compuertas, sifones, etc. Para su dimensionamiento se considera las siguientes tablas y ecuaciones:

**Tabla 5-3** Velocidades del agua medias máximas admisibles para canales abiertos

Tipo de revestimiento	Velocidad media máxima admisible del agua (m <sup>3</sup> /s)
Hormigón de cemento moldeado en obra	2,5
Hormigón de cemento prefabricado	2
Ladrillos	1,4-1,6
Bloques de cemento	1,6

Fuente: SOTELO, G., Hidráulica de canales, México, 2002

**Tabla 6-3** Caudal en función del borde libre en canales abiertos

CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)	FACTOR DE SEGURIDAD (m)
Menor a 0,50	0,30
Mayor a 0,50	0,40

Fuente: Rojas Rubio, 2005

**Tabla 7-3** Revisión de la capacidad de conducción de los canales revestidos

Anchura del fondo (m)	Altura del agua (m)	Pendiente longitudinal (porcentaje)			
		0.02	0.05	0.10	0.15
0.30	0.30	20-30*	30-40	40-60	40-70
0.50	0.40	40-70	70-120	100-160	120-200
0.80	0.60	140-240	230-370	320-530	400-650

Fuente: SOTELO, G., Hidráulica de canales, México, 2002

**Tabla 8-3** Coeficiente de Manning

Material	Coeficiente de Manning
Hormigón simple	0,013
Asbesto cemento	0,011
Latón	0,011
Hierro fundido	0,012
Acero corrugado	0,022
Acero galvanizado	0,016
Plomo	0,011
Plástico (PVC)	0,090

Madera (duelas)	0,012
-----------------	-------

**Fuente:** (Crites & Tchobanoglous, 2000)

**Tabla 9-3** Forma del vertedero en función del caudal

VERTEDERO	CAUDAL
Rectangular	< 20 L/s
Trapezoidal	> 120 L/s
Circular	50 – 120 L/s
Triangular	20 – 50 L/s

**Fuente:** (Estructuras De Conducción De Agua)

#### 3.2.4.7 Dimensionamiento del Canal

- Cálculo del radio hidráulico del canal

El radio hidráulico es una variable importante en el dimensionamiento de canales o vertederos para aguas, el cual se calcula mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 7

$$R_h = \frac{b * h}{b + 2h}$$

Dónde:

$R_h$ : Radio hidráulico (m)

$h$ : Altura efectiva (m)

$b$ : Ancho del canal (m)

- Velocidad media del agua en el canal

La velocidad media es un parámetro aplicable en la caracterización de cuerpos de aguas, con el cual se dimensiona diferentes estructuras hidráulicas.

Ecuación 8

$$v = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2}$$

Dónde:

$v$ : Velocidad media del agua en el canal (m/s)

$n$ : Coeficiente de rugosidad Manning de las paredes del canal.

$R_h$ : Radio hidráulico del canal (m)

$S$ : Pendiente

- Área de la sección transversal mojada del canal

Ecuación 9

$$A = \frac{Q_{max.d}}{v}$$

Dónde:

$A$ : Área de la sección transversal mojada del canal (m<sup>2</sup>)

$h$ : Altura efectiva (m)

$b$ : Ancho del canal (m)

- Altura efectiva (m)

Es la altura máxima del agua en el canal o vertedero y se calcula mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 10

$$h = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

Dónde:

$A$ : Área de la sección transversal mojada del canal (m<sup>2</sup>)

$h$ : Altura efectiva (m)

- Altura del canal

Ecuación 11

$$H = h + h_s$$

Dónde:

$H$ : Profundidad total del canal (m)

$h$ : Altura efectiva (m)

$h_s$ : Factor de seguridad

### 3.2.4.8 *Rejillas*

Las rejillas se emplean en las plantas de tratamiento porque permiten atrapar sólidos muy grandes precautelando la seguridad de los equipos de la planta. En el presente estudio las rejillas serán de limpieza manual ya que el caudal del sector es menor a 0,05 m<sup>3</sup>/s.

**Tabla 10-3** Parámetros del canal de rejillas de un sistema manual

PÁRAMETRO	MEDIDAS
Ancho del canal VERTEDERO (cm)	50
Separación entre barras (cm)	2

**Fuente:** VALDEZ C, Tratamiento y disposición del agua residual.



**Tabla 8-3** Dimensiones para el diseño de rejillas de limpieza manual

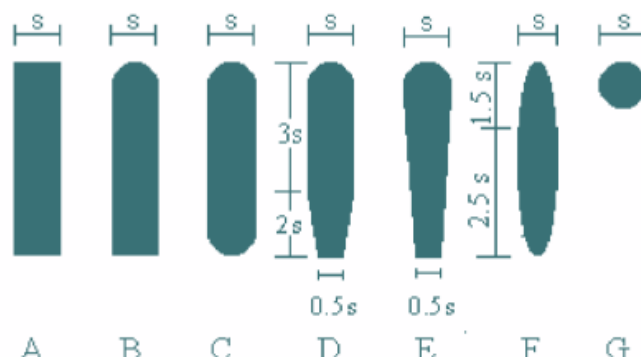
PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDAD	INTERVALO	VALOR
Velocidad de aproximación*	Va	m/s	0,3 – 0,6	0,45
Velocidad mínima*	V	m/s	0,3 – 0,6	0,6
Aceleración de la gravedad	G	m/s <sup>2</sup>	9,8	-
Altura de seguridad**	H <sub>s</sub>	m	0,50	0,50
Espesor de la barra**	e	mm	5 - 15	10
Ancho del canal	b	m	0,5	0,5
Separación entre barras	s	mm	15 - 50	20
Angulo de inclinación**	ø	°	45 - 60	45
Pérdida máxima de carga admisible	H <sub>r</sub>	m	0,015	0,015

**Fuente:** \*Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico 2000, \*\*Normas para Estudio y Diseño de sistemas de agua potable y Disposición de Aguas Residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes.

**Tabla 92-3** Coeficiente de pérdidas para Rejillas

Sección Transversal							
Forma	A	B	C	D	E	F	G
B	2,42	1,83	1,67	1,035	0,92	0,76	1,79

**Fuente:** Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico 2000 (RAS 2000)



**Figura 16-3** Canal Rectangular  
**Fuente:** RAS 2000

## Dimensionamiento de las Rejillas

- Número de barras

Ecuación 12

$$Nb = \frac{b - S_p}{e + S_p}$$

Dónde:

$Np$ : Número de barras

$b$ : Ancho del canal (m)

$e$ : Espesor de barras (m)

$S_p$ : Separación entre barras (m)

- Longitud de barras

Ecuación 13

$$LB = \frac{H}{\text{Sen } \theta}$$

Dónde:

$LB$ : Longitud de barras (m)

$H$ : Ancho total del canal (m)

$\theta$ : Pendiente de la rejilla ( $^\circ$ )

- Área libre entre barras

Ecuación 14

$$A_L = \frac{Q}{V}$$

Dónde:

$A_L$ : Área libre entre barras ( $\text{m}^2$ )

$Q$ : Caudal medio de diseño ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$V$ : Velocidad del agua en el canal ( $\text{m/s}$ )

- Pérdida de carga en rejillas

De acuerdo a Rojas la pérdida de carga en rejillas no debe ser mayor a 75 m, y se define como la pérdida de energía que sufre el agua al pasar por las rejillas, la cual depende de la frecuencia con que se limpien las rejillas y de la cantidad de material basto que lleve el efluente.

Ecuación 15

$$h_c = \beta \left( \frac{S_p}{e} \right)^{\frac{4}{3}} \frac{V^2}{2g} \sin \theta$$

Dónde:

$h_c$ : Pérdida de carga en rejillas (m)

$\beta$ : Coeficiente de pérdida (m)

$S_p$ : Separación entre barras (m)

$e$ : Espesor de barra (m)

$V$ : Velocidad del agua en el canal ( $\text{m/s}$ )

$G$ : Gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

$\theta$ : Pendiente de la rejilla ( $^\circ$ )

- Área de sección transversal del flujo

Ecuación 16

$$A_f = \frac{A_L(S_p + e)}{S_p}$$

Dónde:

$A_f$ : Área de sección transversal del flujo ( $\text{m}^2$ )

$A_L$ : Área libre entre barras ( $m^2$ )

$S_p$ : Separación entre barras (m)

$e$ : Espesor de barra (m)

#### 3.2.4.9 Ecualizador

El tanque ecualizador o de igualamiento es aquel que tiene como finalidad atenuar los cambios de caudales de tal forma que se pueda alcanzar caudales aproximadamente constantes.



**Figura 17-3** Tanque Ecualizador

**Fuente:** <http://www.solucoesindustriais.com>.

Una de sus ventajas es que mejora la eficiencia del proceso ya que evita que se den cambios en la concentración del coagulante en el respectivo proceso de coagulación.

De acuerdo a la bibliografía de Romero Rojas, 2002 y Metcalf & Eddy se puede trabajar bajo condiciones eficientes de operación mediante los siguientes parámetros para el diseño del tanque ecualizador.

**Tabla 13-3** Parámetros de diseño para un tanque ecualizador

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR TÍPICO
Tiempo de Retención	Horas	3-12
Volumen	$m^3$	< 50

Mezcla	W/m <sup>3</sup>	4
Profundidad	m	4,5
Borde Libre	m	0,9
Nivel Mínimo de Operación	m	1,5

**Fuente:** (Romero Rojas, 2002) - (Metcalf, y otros, 1995)

Romero Rojas, 2002 sugiere un tiempo de residencia de 2 a 12 horas y tomando en cuenta que el caudal del sector es bajo y por ende se trata de una planta pequeña, se toma a consideración un tiempo de residencia de 2 h.

### Dimensionamiento del Ecualizador

- Volumen del tanque ecualizador

Ecuación 17

$$V_{ec} = Q * t$$

Dónde:

$V_{ec}$ : Volumen del tanque ecualizador (m<sup>3</sup>)

$Q$ : Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/h)

$t$ : Tiempo de residencia (h)

- Área del tanque

Ecuación 18

$$V_{ec} = A_T * h$$

$$A_T = \frac{V_{ec}}{h}$$

Dónde:

$V_{ec}$ : Volumen del tanque ecualizador (m<sup>3</sup>)

$A_T$ : Área del tanque (m<sup>2</sup>)

$h$ : Altura del tanque (m)

- Ancho del Tanque

Ecuación 19

$$A_T = L * a$$

$$a = \frac{A_T}{L}$$

Dónde:

$A_T$ : Área del tanque (m<sup>2</sup>)

$a$ : Ancho del tanque (m)

$L$ : Largo del tanque (m)

### Mezclador para el ecualizador

Con la finalidad de evitar la deposición de sólidos en la base de la estructura del tanque se sugiere incorporar un mezclador comercial con las siguientes características técnicas:

**Tabla 14-3** Especificaciones técnicas mezclador

Modelo	Pro Flow-Maker
Estructura	Hierro Fundido
Hélice	Acero AISI 316
Motores	0.8 a 5.5 Kw
Rpm Hélice	27 – 148 rpm

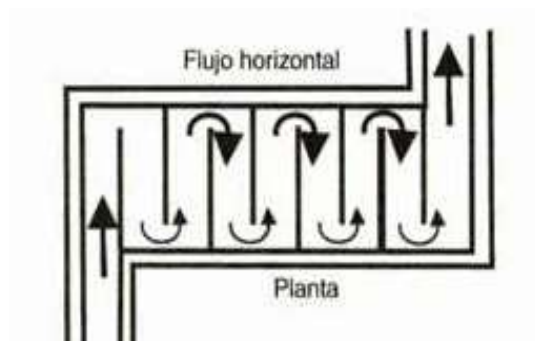
Elaborado por: Valdez, Saul., 2017

#### 3.2.5.1 Coagulador Floculador

Es aquel que facilita el desplazamiento preciso para el crecimiento de los flóculos y luego la sedimentación, los mismos se diseñan de acuerdo a la energía utilizada para su agitación.

- Coagulador Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal

En este equipo el efluente se traslada de forma horizontal entre dos tabiques sucesivos en donde realiza el giro al final de cada uno. Para plantas pequeñas de tratamiento cuyos caudales son menores a 50 L/s es aconsejable este tipo de coagulador floculador.



**Figura 18 -3** floculador hidráulico de flujo horizontal.  
Fuente: <http://repositorio.sena.edu.com>

### Dimensionamiento del Coagulador Floculador

**Tabla 15-3** Parámetros de diseño para un coagulador floculador hidráulico de flujo horizontal

Tipo de Pantalla	Profundidad	Unidad
Asbesto – Cemento	1	m
Madera	1,5 – 2	m

Fuente: (L. Canepa de Vargas)

Los canales o pantallas deben de ser de asbesto – cemento si el agua a tratar tiene un pH básico ya que esto puede influir en el proceso, mientras que el canal de madera no es muy recomendable en zonas demasiado húmedas o cálidas.

**Tabla 16-3** Parámetros específicos para cada tipo de pantalla

Tipo de pantalla	Coefficiente De Fricción Manning	Ancho (m)	Largo (m)	Espesor (m)
Asbesto – Cemento	0,030	0,825	2,44	0,006
Asbesto – Cemento Plana	0,013	1,22	2,44	0,01
Madera	0,012	-	-	-

Fuente: (L. Canepa de Vargas)

**Tabla 17-3** Número de Intensidad

Norma	Gradiente de Velocidad	Número de Camp
FAIR	$2 < G < 40s^{-1}$	$5000 < G.T > 50$
CAMP	$2 < G < 40s^{-1}$	-
AWWA	$5 < G < 100s^{-1}$	$30000 < G.T > 15000$
BRASIL	$10 < G < 70s^{-1}$	-
STENKIST	$G > 40s^{-1}$	-
HUDSON	-	$G.T > 10$

Fuente: (L. Canepa de Vargas)

- Área del canal del Coagulador Floculador

Ecuación 20

$$A_F = \frac{Q}{v}$$

Dónde:

$A_F$ : Área del canal del floculador ( $m^2$ )

$v$ : Velocidad media del agua (m/s)

$Q$ : Caudal máximo de diseño ( $m^3/s$ )



- Ancho del canal del Coagulador Floculador

Ecuación 21

$$a = \frac{A_F}{H_u}$$

Dónde:

$A_F$ : Área del canal del floculador (m<sup>2</sup>)

$a$ : Ancho del canal de floculación (m)

$H_u$ : Altura del agua en la unidad (m)

- Ancho de las vueltas del Coagulador Floculador

Ecuación 22

$$d = 1,5a$$

Dónde:

$d$ : Ancho de las vueltas de floculación (m)

$a$ : Ancho del canal de floculación (m)

- Ancho del Coagulador Floculador

Ecuación 23

$$B_f = 3b_{ac} + d$$

Dónde:

$B_f$ : Ancho floculador (m)

$b_{ac}$ : Ancho útil de la lámina A-C (m)

$d$ : Ancho de las vueltas de floculación (m)

- Longitud efectiva del canal

Es la medida que deberá tener cada canal o pantalla del floculador la cual va a depender del ancho del mismo y de las vueltas de floculación, se calcula mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 24

$$LE = B_f - d$$

Dónde:

$LE$ : Longitud efectiva del canal (m)

$B_f$ : Ancho floculador (m)

$d$ : Ancho de las vueltas de floculación (m)

- Distancia recorrida por el agua

Ecuación 25

$$L_c = v * T_d * 60$$

Dónde:

$L_c$ : Distancia recorrida por el agua (m)

$v$ : Velocidad media del agua (m/s)

$T_r$ : Tiempo de detención (min)

- Número de canales

También se lo conoce como pantallas las cuales pueden ser de asbesto cemento o de madera con revestimientos de fibra de vidrio la elección del material depende de las características químicas del agua a tratar y de las condiciones climáticas del lugar.

$$N_c = \frac{L_c}{B_f}$$

Dónde:

$N_c$ : Número de canales (unidades)

$L_c$ : Distancia recorrida por el agua (m)

$B_f$ : Ancho floculador (m)

- Longitud del Coagulador Floculador

$$L = N_c(d + es)$$

Dónde:

$L$ : Longitud del Floculador

$N_c$ : Número de canales (unidades)

$d$ : Ancho de las vueltas de floculación (m)

$es$ : Espesor de la lámina A-C (m)

- Cálculo del volumen del Coagulador Floculador

$$V_F = L * B_f * H_u$$

Dónde:

$V_F$ : Cálculo del volumen del Floculador (m<sup>3</sup>)

$L$ : Longitud del Floculador (m)

$B_f$ : Ancho floculador (m)

$H_u$ : Altura del agua en la unidad (m)

- Pérdida de carga continua en las vueltas

La pérdida de cargas se produce en cada uno de los canales del coagulador floculador, se calcula mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 29

$$h_{c1} = \frac{kv^2(N_c - 1)}{2g}$$

Dónde:

$h_{c1}$ : Pérdida de carga continua en las vueltas (m)

$N_c$ : Número de canales (unidades)

$g$ : Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

- Perímetro mojado en la sección del tramo

Ecuación 30

$$P = 2H_u + a$$

Dónde:

$P$ : Perímetro mojado en la sección del tramo (m)

$H_u$ : Altura del agua en la unidad (m)

$a$ : Ancho del canal de floculación (m)

- Radio hidráulico de los canales del tramo

Ecuación 31

$$R_H = \frac{A_F}{P}$$

Dónde:

$R_H$ : Radio hidráulico de los canales del tramo (m)

$A_F$ : Área del canal del floculador ( $m^2$ )

$P$ : Perímetro mojado en la sección en la sección del tramo (m)

- Pérdida de carga en los canales del tramo

Es aquella que se va a producir en cada uno de los canales principalmente en las vueltas de los mismos y se calcula mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 32

$$h_{c2} = \frac{(nv)^2}{R_H^{2/3}} * L_c$$

Dónde:

$h_{c2}$ : Pérdida de carga en los canales del tramo (m)

$R_H$ : Radio hidráulico de los canales del tramo (m)

$L_c$ : Distancia recorrida por el agua (m)

$v$ : Velocidad media del agua (m/s)

$n$ : Coeficiente de fricción de manning (adimensional)

- Pérdida de carga total en el último tramo

Ecuación 33

$$h_{cT} = h_{c1} + h_{c2}$$

Dónde:

$h_{cT}$ : Pérdida de carga total en el último tramo (m)

$h_{c1}$ : Pérdida de carga continua en las vueltas (m)

$h_{c2}$ : Pérdida de carga en los canales del tramo (m)

- Gradiente de velocidad

El gradiente de velocidad es una función de la pérdida de carga la cual se produce en los canales primitivamente en las vueltas, se calcula a través de la siguiente fórmula:

Ecuación 34

$$G = \sqrt{\frac{pf}{u} \frac{h_{cT}}{T_r}}$$

Dónde:

$G$ : Gradiente de velocidad (m)

$pf$ : Densidad del fluido a la temperatura de 23°C (kg/m<sup>3</sup>)

$h_{cT}$ : Pérdida de carga total en el último tramo (m)

$u$ : Viscosidad del fluido a la temperatura de 23°C (kg/m<sup>3</sup>)

$T_r$ : Tiempo de detención (min)

- Número de Camp

Es el número de colisiones que se dan por unidad de tiempo, se calcula a través de la siguiente fórmula:

Ecuación 35

$$G_T = G * T_r$$

Dónde:

$G_T$ : Número de Camp (adimensional)

$G$ : Gradiente de velocidad (m)

$T_r$ : Tiempo de detención (min)

## **Cálculo de la dosificación de coagulante a partir de la hoja de tuna y ayudante PAC.**

- Cálculo dosificación Tuna

Ecuación 36

$$D_{TUNA} = \frac{V_{TCF} * D_{TUNA\ TEST\ JARRA}}{V_{JARRA}}$$

Dónde:

$V_{TCF}$ : Volumen del tanque Coagulador Floculador (L)

$D_{TUNA\ TEST\ JARRA}$ : Dosis óptima obtenida en el test de jarras (ml)

$V_{JARRA}$ : Volumen de referencia en el test de jarras (L)

- Cantidad de Tuna

Ecuación 37

$$C_{TUNA} = Con_{TUNA} * D_{TUNA}$$

Dónde:

$C_{TUNA}$ : Cantidad de Tuna (g/día)

$Con_{TUNA}$ : Concentración de solución de Tuna en test de jarras (g/L)

$D_{TUNA}$  : Dosificación de Tuna (L/día)

- Cálculo dosificación Auxiliar Pac

Ecuación 38

$$D_{PAC} = \frac{V_{TCF} * D_{PAC\ TEST\ JARRA}}{V_{JARRA}}$$

Dónde:

$V_{TCF}$ : Volumen del tanque Coagulador Floculador (L)

$D_{TUNA\ TEST\ JARRA}$ : Dosis óptima obtenida en el test de jarras (ml)

$V_{JARRA}$ : Volumen de referencia en el test de jarras (L)

- Cantidad de auxiliar PAC

Ecuación 39

$$C_{PAC} = Con_{PAC} * D_{PAC}$$

Dónde:

$C_{PAC}$ : Cantidad de PAC (g/día)

$Con_{PAC}$ : Concentración de solución de PAC en test de jarras (g/L)

$D_{PAC}$ : Dosificación de auxiliante PAC (L/día)

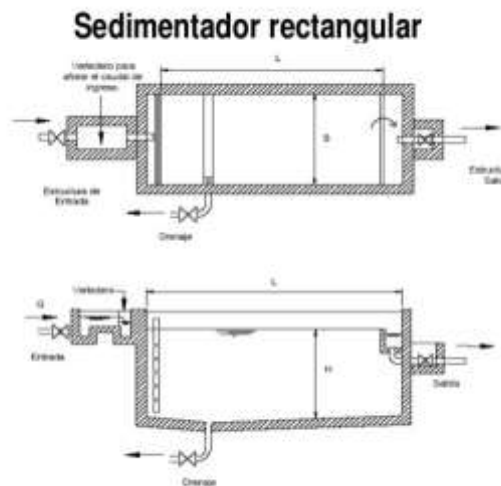
### 3.2.5.3 Sedimentador

Los tanques de sedimentación permiten separar partículas superiores a 0,03 mm e inferiores a 0,2 mm por diferencia de densidades en el agua procedente del floculador.

- Tanques de Sedimentación Rectangular

En este equipo el flujo es horizontal en donde la masa líquida se desplaza de un lugar a otro y en la parte inferior dispone de sistemas de recolección de lodos.





**Figura 19-3** Sedimentador rectangular  
**Fuente:** <https://es.slideshare.net>

- Tanques de Sedimentación Circular

El tanque de sedimentación circular es el más empleado en las plantas de tratamiento de aguas ya que se obtiene una muy buena remoción de los lodos.



**Figura 20-3** Sedimentador rectangular  
**Fuente:** <http://slideplayer.es/>

## Dimensionamiento del Sedimentador

**Tabla 18-3** Parámetros de diseño para tanques de sedimentación

Características	Intervalo	Valor Típico
Sedimentación		
Tiempo de retención, h	1,5 – 2,5	2
Carga de superficie, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *d		
A caudal medio	30 - 50	40
A caudal punta	80 - 120	100
Cargas sobre vertedero	125 - 500	250
Sedimentación con adición del lodo activado en exceso		
Tiempo de retención, h	1,5 – 2,5	2
Carga de superficie, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *d		
A caudal medio	24 - 72	28
A caudal punta	48 - 70	60
Cargas sobre vertedero	125 - 500	250

**Fuente:** (Metcalf, y otros, 1995)

**Tabla 19-3** Parámetros de diseño para tanques de sedimentación rectangular y circular

Parámetro	Símbolo	Valor
Rectangular < 40 m <sup>3</sup>		
Profundidad	M	1,2
Longitud	M	2
Ancho	M	5
Velocidad de sedimentación	m/h	0,10
Circular < 40 m <sup>3</sup>		
Profundidad	M	3,6
Longitud	m	12
Pendiente de la	mm/m	8

solera		
Velocidad de los rascadores	r/min	0,03

Fuente: (Metcalf, y otros, 1995)

- Zona de Entrada

**Tabla 20-3** Parámetros de diseño para pantalla difusora

Parámetro	Rango	Símbolo
Distancia desde la pared de entrada	0,7 - 1	M
Distancia de la pared inferior del sedimentador	0,80	M
Los orificios más altos a partir de la superficie	1/5 – 1/6	M
Los orificios más bajos a partir de la superficie del fondo	1/4 - 1/5	M
Velocidad inicial	≤0,15	m/s
Los orificios deben ser aboquillados en el sentido del flujo	15	°

Fuente: CEPIS

- Área total de los orificios

Es aquella superficie en donde se ubicaran las aberturas por donde transitara el efluente, se calcula mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 40

$$A_o = \frac{Q}{V_o}$$

Dónde:

$A_o$ : Área total de orificios (m<sup>2</sup>)

$Q$ : Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

$V_o$ : Velocidad de paso entre orificios (m/s)

- Área de sección circular

Ecuación 41

$$a_o = \frac{\pi D^2}{4}$$

Dónde:

$a_o$ : Área de sección circular (m<sup>2</sup>)

$D$ : Diámetro del orificio asumido (m)

- Número de orificios

Ecuación 42

$$n_o = \frac{A_o}{a_o}$$

Dónde:

$n_o$ : Número de orificios

$A_o$ : Área total de orificios (m<sup>2</sup>)

$a_o$ : Área de sección circular (m<sup>2</sup>)

## - Zona de Sedimentación

- Longitud Total

Es la sumatoria de la longitud calculada del sedimentador y la distancia entre la pantalla difusora y pared de entrada.

Ecuación 43

$$L_t = L_s + L_{pd}$$

Dónde:

$L_t$ : Longitud Total (m)

$L_s$ : Longitud del sedimentador (m)

$L_{pd}$ : Longitud entre la pantalla difusora y la pared de entrada (m)

- Velocidad de Sedimentación

La velocidad de sedimentación en cada uno de los orificios no debe ser mayor a 0,15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación.

Ecuación 44

$$v_s = \frac{Q}{L_t * B_s}$$

Dónde:

$v_s$ : Velocidad de Sedimentación (m/s)

$Q$ : Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

$L_t$ : Longitud Total (m)

$B_s$ : Ancho del sedimentador (m)

- Área superficial en la zona de sedimentación

Ecuación 45

$$A_s = \frac{Q}{v_s}$$

Dónde:

$A_s$ : Área superficial en la zona de sedimentación (m<sup>2</sup>)

$v_s$ : Velocidad de Sedimentación (m/s)

$Q$ : Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

- Carga Hidráulica

La carga hidráulica es la presión que ejerce el líquido sobre una superficie, se calcula a través de la siguiente fórmula:

Ecuación 46

$$C_H = \frac{Q}{B_s}$$

Dónde:

$C_H$ : Carga Hidráulica (L/sm)

$Q$ : Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

$B_s$ : Ancho del sedimentador (m)

- Volumen del tanque sedimentador

Ecuación 47

$$V_{ts} = B_s * L_t * P_s$$

Dónde:

$V_{ts}$ : Volumen del tanque sedimentador (m<sup>3</sup>)

$B_s$ : Ancho del sedimentador (m)

$L_t$ : Longitud Total (m)

$P_s$ : Profundidad del sedimentador (m)

- Periodo de retención hidráulica

El periodo de retención hidráulica es el tiempo que se demora en llegar la partícula a la zona de lodos, el cual debe de ser de 2 a 6 horas.

$$P_{RH} = \frac{V_{ts}}{Q}$$

Dónde:

$P_{RH}$ : Periodo de retención hidráulica (min)

$V_{ts}$ : Volumen del tanque sedimentador (m<sup>3</sup>)

$Q$ : Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

#### - Zona de recolección de lodos

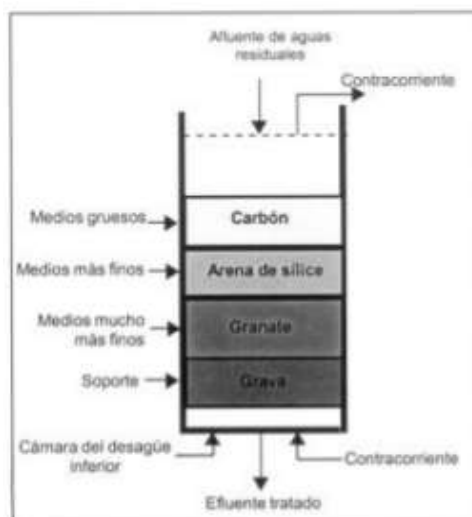
Los lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales serán recolectados para su correspondiente disposición final los cuales serán sometidos a un proceso de secado evaporando el agua presente en los mismos llegando a tener un material sólido con un contenido de humedad inferior al 70% para usarlos finalmente como abono.

#### **3.2.5.4 Filtro**

Son equipos que permiten mejorar la calidad del agua quitándole la turbiedad y mal olor que esta contenga, el efluente se lo hace pasar mediante un lecho de arena u otra materia porosa que tenga la característica de adsorber sustancias que no han podido ser removidas en las operaciones anteriores del sistema de tratamiento.

- Filtro Dual de Medios Múltiples

El filtro dual se caracteriza por poseer en su interior una determinada cantidad de arena, grava y carbón activado.



**Figura 21-3** Filtro Dual de Medios Múltiples

Fuente: <https://www.slideshare.net>

## Dimensionamiento del Filtro

**Tabla 21-3** Parámetros de diseño para Filtros

Parámetro	Unidad	Valor
<b>Carbon activado</b>		
Espesor capa de carbon	Cm	45
Tamaño efectivo	Mm	0,8 - 1,4
Coefficiente de uniformidad		$\leq 1,4$
<b>Arena</b>		
Espesor de arena	Cm	30
Tamaño efectivo	Mm	0,45 - 0,65
Coefficiente de uniformidad		1,4 - 2,5
<b>Grava</b>		
Espesor grava en el fondo	Cm	15
Tamaño efectivo	Mm	2,4
<b>Capa de agua sobrenadante</b>		
Altura de agua	Mm	1,5
Borde libre	Cm	30
<b>Lecho de filtración</b>		
Profundidad del medio	M	0,6 - 1,40
Tasa de filtración	m/s	0,00016
<b>Drenaje</b>		
Altura del drenaje	Cm	60
Tiempo de lavado	Min	5 - 15
<b>Diseño Laterales</b>		



Capa de soporte	Cm	30
Espacio de lo laterales*	M	1 – 2
Diámetro de los orificios de los laterales*	Mm	2 - 4
Espacio de los orificios de los laterales*	Cm	7,5 - 30
Altura entre tubo y fondo del filtro*	Cm	3 - 5
Factor de seguridad	-	1
Velocidad en orificio*	m/s	0,15 - 0,3
Velocidad afluente	m/s	0,15 - 3
Velocidad efluente	m/s	0,4 - 0,9

**Fuente:** (Romero, 2008) \* Vigneswaran, et al., 1995

**Romero, J. (2008).** Tratamiento de aguas residuales, Teoría y principios de diseño. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

**Tabla 22-3** Parámetros de diseño para Filtros

Población	Número de unidades	Unidades de reserva
<2000	2	100%
2000 – 10000	3	50%
10000 – 60000	4	33%
60000 – 100000	5	25%

**Fuente:** Cargua, 2014

La geometría del filtro será de forma rectangular con flujo descendente.

- Caudal de diseño para cada filtro

Ecuación 49

$$Q_{df} = \frac{Q_c}{nf}$$

Dónde:

$Q_{df}$ : Caudal de diseño para cada filtro (m<sup>3</sup>/s)

$Q_c$ : Caudal de captación (m<sup>3</sup>/s)

$nf$ : Número mínimo de filtros (adimensional)

- Área del filtro

El área del filtro está condicionada por el caudal del efluente y la tasa de filtración, se calcula mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 50

$$A_f = \frac{Q_t}{\text{tasa de filtración}}$$

Dónde:

$A_f$ : Área del filtro (m<sup>2</sup>)

$Q_t$ : Caudal a tratar (m<sup>3</sup>/s)

- Coeficiente mínimo de costo

El coeficiente mínimo de costo es una variable que depende del número de unidades de filtración, se calcula a través de la siguiente fórmula:

Ecuación 51

$$K = \frac{2 * nf}{nf + 1}$$

Dónde:

$K$ : Coeficiente mínimo de costo (adimensional)

$nf$ : Número de filtros (adimensional)

- Longitud del filtro

Ecuación 52

$$l = (A_f * K)^{1/2}$$

Dónde:

$l$ : Longitud del filtro (m)

$A_f$ : Área del filtro (m<sup>2</sup>)

$K$ : Coeficiente mínimo de costo (adimensional)

- Ancho del filtro

Ecuación 53

$$b = \left( \frac{A_f}{K} \right)^{1/2}$$

Dónde:

$b$ : Ancho del filtro (m)

$A_f$ : Área del filtro (m<sup>2</sup>)

$K$ : Coeficiente mínimo de costo (adimensional)

- Altura del lecho filtrante

Es la altura de los componentes del filtro los cuales son carbón, arena y grava, como indica a continuación:

Ecuación 54

$$H_{LF} = e_c + e_a + e_g$$

Dónde:

$H_{LF}$ : Altura del lecho filtrante (m)

$e_c$ : Espesor de la capa de carbón (m)

$e_a$ : Espesor de la capa de arena (m)

$e_g$ : Espesor de la capa de grava (m)

- Altura del filtro

Se la calcula de acuerdo a la altura del lecho filtrante con la siguiente fórmula;

Ecuación 55

$$Z_f = f_s(C_a + H_{LF} + C_s + F_c)$$

Dónde:

$Z_f$ : Altura del filtro (m)

$f_s$ : Espesor de la capa de carbón (m)

$C_a$ : Altura capa de agua (m)

$H_{LF}$ : Altura del lecho filtrante (m)

$C_s$ : Altura capa de soporte (m)

$F_c$ : Altura del drenaje (m)

- Volumen del filtro

Ecuación 56

$$V_f = b * H_{LF} * Z_f$$

Dónde:

$V_f$ : Volumen del filtro (m<sup>3</sup>)

$b$ : Ancho del filtro (m)

$H_{LF}$ : Altura del lecho filtrante (m)

$Z_f$ : Altura del filtro (m)

## Consideraciones de diseño del sistema de drenaje

- Área de los orificios laterales

El área de los orificios es la superficie que tendrán orificios de la tubería que irá en el filtro, se calcula a través de la siguiente fórmula:

Ecuación 57

$$A_o = \frac{\pi D_o^2}{4}$$

Dónde:

$A_o$ : Área de los orificios laterales (m<sup>2</sup>)

$D_o$ : Diámetro del orificio (m)

- Caudal que ingresa a cada orificio

Ecuación 58

$$Q_o = A_o * v_o$$

Dónde:

$Q_o$ : Caudal que ingresa a cada orificio (m<sup>3</sup>/s)

$A_o$ : Área de los orificios laterales (m<sup>2</sup>)

$v_o$ : Velocidad en orificio (m/s)

- Número de laterales

Es el número de tuberías que se dispondrán a un lado de la tubería de drenaje, se calcula mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 59

$$N_L = n_L \frac{L_f}{e_L}$$

Dónde:

$N_L$ : Número de laterales (adimensional)

$n_L$ : Número de laterales por lado (adimensional)

$L_f$ : Longitud del filtro (m)

$e_L$ : Separación entre laterales (m)

- Diámetro de la tubería de entrada al filtro

Este parámetro se lo obtiene a partir de los criterios de la velocidad, se calcula mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 60

$$D_T = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v_e}}$$

Dónde:

$D_T$ : Diámetro de la tubería de entrada al filtro (m)

$Q$ : Caudal (m<sup>3</sup>/s)

$v_e$ : Velocidad de agua a través de la tubería de entrada (m/s)

- Diámetro de la tubería de salida del filtro

Este parámetro se lo obtiene a partir de los criterios de la velocidad, se calcula mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 61

$$D_{TS} = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v_s}}$$

Dónde:

$D_{TS}$ : Diámetro de la tubería de salida del filtro (m)

$Q$ : Caudal ( $m^3/s$ )

$v_s$ : Velocidad de agua a través de la tubería de salida (m/s)

### ***3.2.5.5 Consideraciones para el Tratamiento de Aguas Residuales***

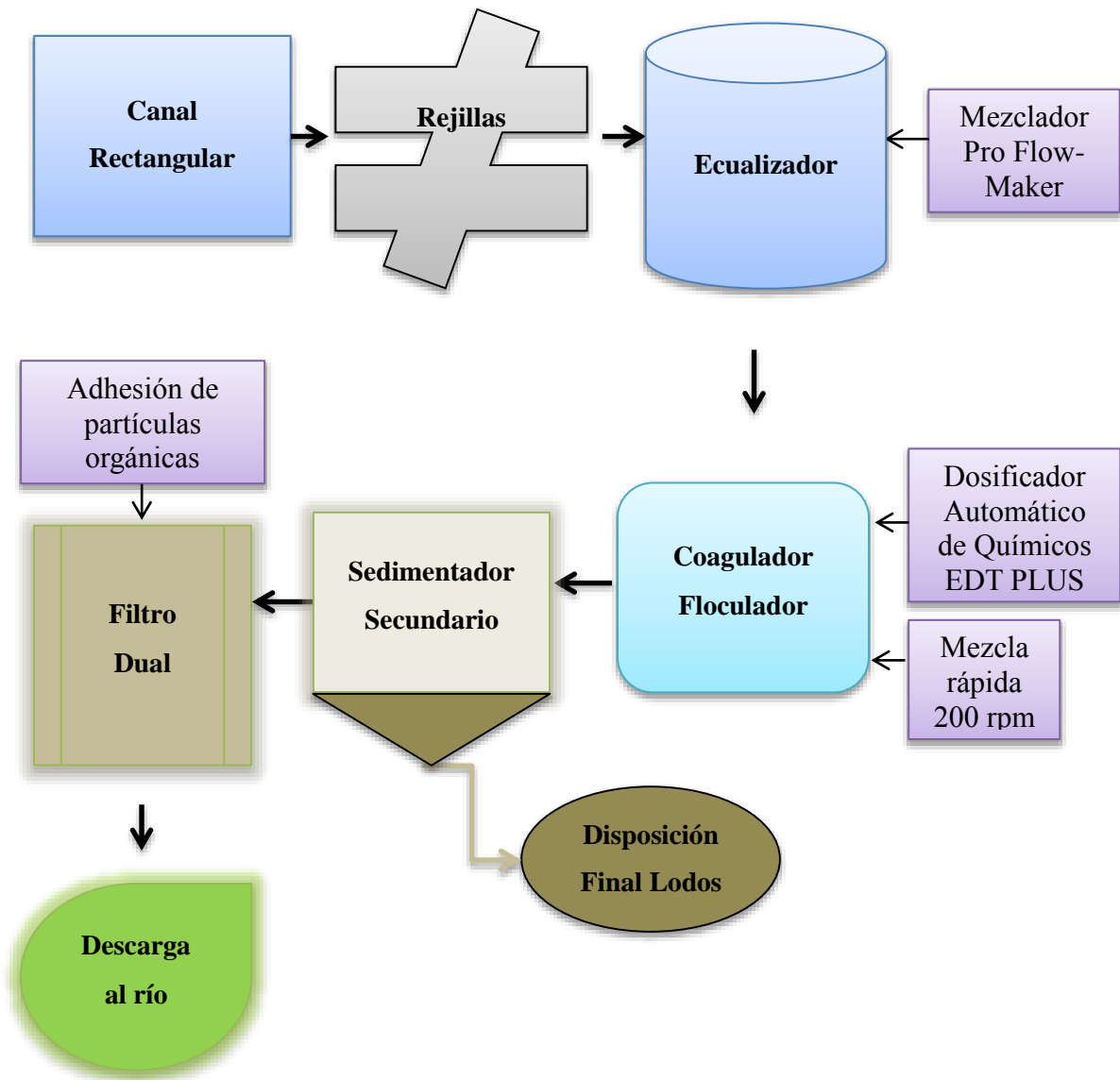
$$\frac{DBO_5}{DQO} = \frac{150 \text{ mg/L}}{448 \text{ mg/L}}$$

$$\frac{DBO_5}{DQO} = 0,3$$

De acuerdo a lo mencionado anteriormente el resultado nos indica que el agua residual de la Parroquia Vuelta Larga tiene una biodegradabilidad normal según la tabla 8-3 a través de dicho valor se puede elegir el tratamiento más conveniente el cual puede ser físico - químico o biológico, en este caso se elige el tratamiento físico – químico.

### 3.3 Dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales

De acuerdo a los estudios desarrollados se propone el siguiente sistema de tratamiento de aguas residuales de la parroquia Vuelta Larga del cantón Esmeraldas.





### 3.4 Cálculos

#### 3.4.1 Cálculo de la Población Futura

**Tabla 23-3** Datos para el cálculo de la población futura

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
*Población Actual	Pa	2997	Hab
*Índice de crecimiento anual	r	3,7	%
Periodo de tiempo	n	27	Años

**Fuente:** \* Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC).

**Elaborado por:** Valdez, S., 2017

La tasa de crecimiento (r) de la parroquia Vuelta Larga del cantón Esmeraldas es de 3,7 % según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC).

- Cálculo de la población futura ( $P_f$ ) a través de la Ec. 1

$$P_f = P_a * \left(1 + \frac{r}{100}\right)^n$$
$$P_f = 2997 * \left(1 + \frac{3,7}{100}\right)^{27}$$
$$P_f = 7993.06$$
$$P_f = 7993 \text{ hab}$$

#### 3.4.2 Cálculo del caudal

**Tabla 24-3** Datos para el cálculo de caudales

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Población Futura	Pa	7993	Hab
*Dotación de Agua Potable	Dot	100	L/hab. Día
*Coeficiente de retorno	CR	0,8	-

**Fuente:** \* Normas Para Estudio Y Diseño De Agua Potable Y Disposición De Aguas Residuales Para Poblaciones Mayores A 1000 Habitantes.

**Elaborado por:** Valdez, S., 2017

La dotación de agua potable (Dot) es de 100 L/hab.Día y el coeficiente de retorno (CR) es 0,8 porque la población futura sobre pasa los 1000 habitantes según las Normas Para Estudio Y Diseño De Agua Potable Y Disposición De Aguas Residuales Para Poblaciones Mayores A 1000 Habitantes.

- Cálculo del caudal medio teórico ( $Q_{mt}$ ) a través de la Ec. 2

$$Q_{mt} = \frac{CR(Dot)(Pf)}{86400}$$

$$Q_{mt} = \frac{0,8 \left( 100 \frac{L}{hab - día} \right) (7993 hab)}{86400}$$

$$Q_{mt} = 7,40 L/s$$

- Cálculo del coeficiente de mayorización ( $M$ ) a través de la Ec. 3

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{Pf}{1000}}}$$

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{7993}{1000}}}$$

$$M = 3,05$$

- Cálculo del caudal máximo teórico ( $Q_{max.t}$ ) a través de la Ec. 4

$$Q_{max.t} = M(Q_{mt})$$

$$Q_{max.t} = 3,05(7,40 L/s)$$

$$Q_{max.t} = 22,58 L/s$$

- Cálculo del caudal de diseño ( $Q$ )

- Caudal medio de diseño ( $Q_{md}$ ) a través de la Ec. 5

$$Q_{md} = Q_{mt} + Q_{inf}$$

Caudal de infiltración ( $Q_{inf}$ ) es 0,1 L/s

Porque se ocupa el valor mínimo cuando no existe estudio previo del parámetro Caudal de infiltración ( $Q_{inf}$ ) según Crites & Tchobanoglous, 2000 siendo el caudal máximo 0,1 L/s.

$$Q_{md} = 7,40 \frac{L}{s} + 0,1 \frac{L}{s}$$

$$Q_{md} = 7,41 \text{ L/s}$$

- Caudal máximo de diseño ( $Q_{max.d}$ ) a través de la Ec. 6

$$Q_{max.d} = Q_{max.t} + Q_{inf}$$

$$Q_{max.d} = 22,59 \frac{L}{s} + 0,1 \frac{L}{s}$$

$$Q_{max.d} = 22,59 \text{ L/s}$$

### 3.4.3 Cálculo del canal

- Cálculo del radio hidráulico ( $R_h$ ) del canal a través de la Ec. 7

$$R_h = \frac{b * h}{b + 2h}$$

El ancho del canal (b) es 0,50 m y altura de agua en el canal (h) es 0,40 m porque el caudal máximo de diseño es mayor a 10 L/s de acuerdo a SOTELO G, 2002, valores que son tomados de la tabla 7-3.

$$R_h = \frac{0,50 * 0,40}{0,50 + 2(0,40)}$$

$$R_h = 0,15 \text{ m}$$

- Velocidad media del agua ( $v$ ) en el canal a través de la Ec. 8

$$v = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2}$$

De la tabla 8-3 se toma el coeficiente de rugosidad de manning (n) que es de 0,013 porque se trata de un canal rectangular cuyo material es de hormigón simple.

El valor de la pendiente (S) es 0.02 % porque el caudal máximo de diseño es mayor a 10 L/s de acuerdo a SOTELO G, 2002, el cual es tomado de la tabla 7-3.

$$v = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2}$$

$$v = \frac{1}{0,013} (0,15)^{2/3} (0,0002)^{1/2}$$

$$v = 0,31 \text{ m/s}$$

- Área de la sección transversal mojada del canal ( $A$ ) a través de la Ec. 9

$$A = \frac{Q_{max.d}}{v}$$

$$A = \frac{0,0226 \text{ m}^3/\text{s}}{0,31 \text{ m/s}}$$

$$A = 0,07 \text{ m}^2$$

- Altura efectiva ( $h$ ) a través de la Ec. 10

$$h = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

$$h = \sqrt{\frac{0,07\text{m}^2}{2}}$$

$$h = 0,19 \text{ m}$$

- Altura del canal ( $H$ ) a través de la Ec. 11

$$H = h + h_s$$

De la tabla 6-3 se toma el factor de seguridad ( $h_s$ ) que es igual a 0,30 m porque el caudal de diseño es menor a 0,50 m<sup>3</sup>/s según Rojas Rubio.

$$H = 0,19\text{m} + 0,30\text{m}$$

$$H = 0,49 \text{ m}$$

#### 3.4.4 Cálculo de las Rejillas

**Tabla 25-3** Datos para el cálculo de rejillas de limpieza manual

PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDAD	VALOR
Espesor de la barra	e	mm	10*
Separación de barras	$S_p$	mm	20**
Ángulo	$\theta$	°	45**
Coefficiente de pérdida de rejillas	$\beta$	-	1,79

Altura total del canal	H	m	0,43
Velocidad del agua	V	m/s	0,31

**Fuente:** \* Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico 2000 (RAS 2000), \*\*Normas para Estudio y Diseño de sistemas de agua potable y Disposición de Aguas Residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes

**Elaborado por:** Valdez, S., 2017

Las rejillas serán de limpieza manual ya que el caudal máximo de diseño es menor a  $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$  según (Valdez, y otros, 2003)

Los valores que se describen en la tabla 25-3 son tomados de las Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes y al RAS.

- Número de barras ( $Nb$ ) a través de la Ec. 12

$$Nb = \frac{b - S_p}{e + S_p}$$

$$Nb = \frac{0,5m - 0,02m}{0,01m + 0,02m}$$

$$Nb = 16 \text{ barras}$$

- Longitud de barras ( $LB$ ) a través de la Ec. 13

$$LB = \frac{H}{\text{Sen } \theta}$$

El valor del ángulo ( $\theta$ ) de inclinación de rejillas de limpieza manual es de  $45^\circ$  a  $60^\circ$ , en donde se toma el ángulo de  $45^\circ$  respecto a la vertical porque con este ángulo se facilitará la limpieza de las barras.

$$LB = \frac{0,49m}{\text{Sen } 45}$$

$$LB = 0,69 \text{ m}$$

- Área libre entre barras ( $A_L$ ) a través de la Ec. 14

$$A_L = \frac{Q_{md}}{V}$$

$$A_L = \frac{0,0074 \text{ m}^3/s}{0,31 \text{ m/s}}$$

$$A_L = 0,024 \text{ m}^2$$

- Pérdida de carga en rejillas ( $h_c$ ) a través de la Ec.15

$$h_c = \beta \left( \frac{S_p}{e} \right)^{\frac{4}{3}} \frac{V^2}{2g} \sin \theta$$

El coeficiente de pérdida ( $\beta$ ) es 1,79 m debido a que la cantidad de sólidos que tiene el agua a tratar es baja y por ser rejillas de limpieza manual la forma de las barras es circular cuyo valor es tomado de la tabla 12-3.

$$h_c = 1,79 \left( \frac{0,02m}{0,01m} \right)^{\frac{4}{3}} \frac{\left( \frac{0,31m}{s} \right)^2}{2 \left( \frac{9,8m}{s^2} \right)} \sin 45$$

$$h_c = 0,016 \text{ m}$$

- Área de sección transversal del flujo ( $A_f$ ) a través de la Ec.16

$$A_f = \frac{A_L(S_p + e)}{S_p}$$

$$A_f = \frac{0,024 \text{ m}^2(0,02m + 0,01m)}{0,02m}$$

$$A_f = 0,036 \text{ m}^2$$

### 3.4.5 Cálculos para el Ecualizador

- Volumen del tanque ecualizador ( $V_{ec}$ ) a través de la Ec.17

$$V_{ec} = Q_{md} * t$$

El tiempo de residencia es de 1,5 a 12 horas y tomando en cuenta que el caudal del sector es bajo por ende el volumen del tanque ecualizador será bajo, por tal razón se toma a consideración un tiempo de residencia de 1,5 h.

$$V_{ec} = 26,64 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 1,5 \text{ h}$$

$$V_{ec} = 39,96 \text{ m}^3$$

- Área del tanque ( $A_T$ ) a través de la Ec.18

$$A_T = \frac{V_{ec}}{h}$$

De la tabla 13-3 se toma el valor de la altura del tanque (h) la cuál es 4,5 m debido al volumen del tanque ecualizador que es menor a  $50 \text{ m}^3$  según (Romero Rojas, 2002).

$$A_T = \frac{39,96 \text{ m}^3}{4,5 \text{ m}}$$

$$A_T = 8,81 \text{ m}^2$$

- Ancho del Tanque ( $a$ ) a través de la Ec.19

$$a = \frac{A_T}{L}$$



De la tabla 13-3 se toma el valor del largo ( $L$ ) el cual es de 5 m debido al volumen del tanque que es menor a  $50 \text{ m}^3$  según (Romero Rojas, 2002).

$$a = \frac{8,81 \text{ m}^2}{5 \text{ m}}$$

$$a = 1,76 \text{ m}$$

#### 3.4.6 Cálculos para el Coagulador Floculador

- Área del canal del Coagulador Floculador ( $A_F$ ) a través de la Ec. 20

$$A_F = \frac{Q_{max.d}}{v}$$

$$A_F = \frac{0,0225 \text{ m}^3/s}{0,31 \text{ m/s}}$$

$$A_F = 0,072 \text{ m}^2$$

- Ancho del canal del Coagulador Floculador ( $a$ ) a través de la Ec. 21

$$a = \frac{A_F}{H_u}$$

De la tabla 15-3 se toma el valor de la altura del agua en la unidad ( $H_u$ ) el cuál es de 1 m porque el tipo del material del canal o pantalla para el Coagulador Floculador es de asbesto – cemento el cual es recomendable para zonas cálidas.

$$a = \frac{0,072 \text{ m}^2}{1 \text{ m}}$$

$$a = 0,072 \text{ m}$$

- Ancho de las vueltas del Coagulador Floculador ( $d$ ) a través de la Ec. 22

$$d = 1,5a$$

$$d = 1,5(0,072 \text{ m})$$

$$d = 0,11 \text{ m}$$

- Ancho del Coagulador Floculador ( $B_f$ ) a través de la Ec. 23

$$B_f = 3b_{ac} + d$$

De la tabla 16-3 se toma el valor del ancho útil de la lámina A-C ( $b_{ac}$ ) el cual es 0,825 m porque pertenece a una pantalla cuyo material es de asbesto - cemento que reduce la gradiente de velocidad entre el canal y las vueltas.

$$B_f = 3(0,825\text{m}) + 0,11 \text{ m}$$

$$B_f = 2,58 \text{ m}$$

- Longitud efectiva del canal ( $LE$ ) a través de la Ec. 24

$$LE = B_f - d$$

$$LE = 2,58 \text{ m} - 0,11 \text{ m}$$

$$LE = 2,47 \text{ m}$$

- Distancia recorrida por el agua ( $L_c$ ) a través de la Ec. 25

$$L_c = v * T_d * 60$$

El tiempo de detención para la distancia recorrida ( $T_d$ ) es de 10 a 30 minutos, por lo que se elige el tiempo mínimo para que ocurra la floculación debido al bajo caudal del sector.

$$L_c = 0,31 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 10 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$L_c = 187 \text{ m}$$

- Número de canales ( $N_c$ ) a través de la Ec. 26

$$N_c = \frac{L_c}{B_f}$$

$$N_c = \frac{187 \text{ m}}{2,58 \text{ m}}$$

$$N_c = 72,54 \text{ unidades} \approx 73 \text{ unidades}$$

- Longitud del Coagulador Floculador ( $L$ ) a través de la Ec. 27

$$L = N_c(d + es)$$

De la tabla 16-3 se toma el valor del espesor de la lámina ( $es$ ) el cuál es 0,006 m porque el material es de asbesto – cemento.

$$L = 73(0,11 \text{ m} + 0,006\text{m})$$

$$L = 8,30 \text{ m}$$

- Cálculo del volumen del Coagulador Floculador ( $V_F$ ) a través de la Ec. 28

$$V_F = L * B_f * H_u$$

$$V_F = 8,30 \text{ m} * 2,58 \text{ m} * 1 \text{ m}$$

$$V_F = 21,44 \text{ m}^3$$

- Pérdida de carga continua en las vueltas ( $h_{c1}$ ) a través de la Ec. 29

$$h_{c1} = \frac{kv^2(N_c - 1)}{2g}$$

Los coaguladores floculadores cuyos volúmenes sean pequeños su coeficiente de pérdida de carga ( $k$ ) es 3.

$$h_{c1} = \frac{3(0,31m/s)^2(73 - 1)}{2(\frac{9,8m}{s^2})}$$

$$h_{c1} = 1,068 m$$

- Perímetro mojado en la sección del tramo ( $P$ ) a través de la Ec. 30

$$P = 2H_u + a$$

$$P = 2(1m) + 0,072 m$$

$$P = 2,07 m$$

- Radio hidráulico de los canales del tramo ( $R_{HC}$ ) a través de la Ec. 31

$$R_{HC} = \frac{A_F}{P}$$

$$R_{HC} = \frac{0,072 m^2}{2,07 m}$$

$$R_{HC} = 0,035 m$$

- Pérdida de carga en los canales del tramo ( $h_{c2}$ ) a través de la Ec. 32

$$h_{c2} = \frac{(nv)^2}{R_H^{2/3}} * L_c$$

De la tabla 16-3 se toma el coeficiente de fricción de Manning ( $n$ ) para el tipo de pantalla es decir el material el cual es de asbesto - cemento cuyo valor es 0,03 según L. Canepa de Vargas.

$$h_{c2} = \frac{(0,030 * 0,31m/s)^2}{(0,035 m)^{2/3}} * 187$$

$$h_{c2} = 0,15 m$$

- Pérdida de carga total en el último tramo ( $h_{cT}$ ) a través de la Ec. 33

$$h_{cT} = h_{c1} + h_{c2}$$

$$h_{cT} = 1,068 \text{ m} + 0,15 \text{ m}$$

$$h_{cT} = 1,22 \text{ m}$$

- Gradiente de velocidad a través de la Ec. 34

$$G = \sqrt{\frac{\partial_f h_{cT}}{\mu T_d}}$$

La densidad del fluido ( $\partial_f$ ) a temperatura de 23°C es 997,45 kg/m<sup>3</sup> y viscosidad ( $\mu$ ) es de 0,9463x10<sup>-3</sup>kg/m.s, valores calculados en el Laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

$$G = \sqrt{\frac{997,45 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,22 \text{ m}}{0,9463 * \frac{10^{-3} \text{ kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} 10 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}}}$$

$$G = 46,34 \text{ s}^{-1}$$

Según la tabla 17-3 la gradiente de velocidad está dentro del rango 5<G<100 s<sup>-1</sup> de acuerdo a la Norma American Water Works Association (AWWA).

- Número de Camp a través de la Ec. 35

$$G_T = G * T_d$$

$$G_T = 46,34 \text{ s}^{-1} * 10 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$G_T = 27804$$

El número de Camp calculado 28998 se encuentra dentro del rango de acuerdo a la Norma American Water Works Association (AWWA) 30000<G.T>15000, ver en la tabla 17-3.

### 3.4.7 Cálculo de la dosificación de coagulante a partir de la hoja de tuna y ayudante PAC

- Cálculo dosificación Tuna a través de la Ec. 36

$$D_{TUNA} = \frac{V_{TCF} * D_{TUNA TEST JARRA}}{V_{JARRA}}$$

$$D_{TUNA} = \frac{21440 L * 3,5 ml}{1 L}$$

$$D_{TUNA} = 75040 ml$$

$$D_{TUNA} = 75,04 L/día$$

- Cantidad de Tuna a través de la Ec. 37

$$C_{TUNA} = Con_{TUNA} * D_{TUNA}$$

$$C_{TUNA} = \frac{0,01g}{L} * 75,04 \frac{L}{día}$$

$$C_{TUNA} = 0,75 g/día$$

- Cálculo dosificación Auxiliar Pac a través de la Ec. 38

$$D_{PAC} = \frac{V_{TCF} * D_{PAC TEST JARRA}}{V_{JARRA}}$$

$$D_{PAC} = \frac{21440 L * 0,1 ml}{1 L}$$

$$D_{PAC} = 2144 ml$$

$$D_{PAC} = 2,14 \frac{L}{día}$$

- Cantidad de auxiliar PAC a través de la Ec. 39

$$C_{PAC} = Con_{PAC} * D_{PAC}$$

$$C_{PAC} = 0,1 \frac{g}{L} * 2,14 L/día$$

$$C_{PAC} = 0,214 g/día$$



**Figura 22-3** Dosificación de tuna  
Elaborado por: Valdez, S., 2017

### 3.4.8 Cálculos para el Sedimentador

- Área total de los orificios ( $A_o$ ) a través de la Ec. 40

$$A_o = \frac{Q}{V_o}$$

De la tabla 19-3 se toma el valor de la velocidad de paso entre orificios ( $V_o$ ) el cual es 0,10 m/s porque se trata de un sedimentador rectangular cuyo volumen es bajo según.

$$A_o = \frac{0,0225 \text{ m}^3/\text{s}}{0,10 \text{ m/s}}$$

$$A_o = 0,2255 \text{ m}^2$$

- Área de sección circular ( $a_o$ ) a través de la Ec. 41

$$a_o = \frac{\pi D^2}{4}$$

El diámetro del orificio ( $D$ ) para un sedimentador rectangular de bajo volumen es 0,05 m de acuerdo a las Normas del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

$$a_o = \frac{\pi(0,05\text{m})^2}{4}$$

$$a_o = 1,96 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

- Número de orificios ( $n_o$ ) a través de la Ec. 42

$$n_o = \frac{A_o}{a_o}$$

$$n_o = \frac{0,2255 \text{ m}^2}{1,96 * 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$n_o = 114,98$$

$$n_o = 115 \text{ orificios}$$

#### Zona de Sedimentación

- Longitud Total ( $L_t$ ) a través de la Ec. 43



$$L_t = L_s + L_{pd}$$

Al tratarse de un sedimentador rectangular pequeño su longitud ( $L_s$ ) es 2 m, el cuál es tomado de la tabla 19-3.

La longitud entre la pantalla difusora y la pared de entrada ( $L_{pd}$ ) es solo 1m porque el agua a tratar tiene un contenido bajo de sólidos de acuerdo a las Normas del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

$$L_t = 2m + 1m$$

$$L_t = 3m$$

- Velocidad de Sedimentación ( $v_s$ ) a través de la Ec. 44

$$v_s = \frac{Q_{md}}{L_t * B_s}$$

Al tratarse de un sedimentador rectangular pequeño su ancho ( $L_s$ ) es 2 m, El cual es tomado de la tabla 19-3.

$$v_s = \frac{0,0074 \text{ m}^3/s}{3m * 3m}$$

$$v_s = 0,0025 \text{ m/s}$$

- Área superficial en la zona de sedimentación ( $A_s$ ) a través de la Ec. 45

$$A_s = \frac{Q_{md}}{v_s}$$

$$A_s = \frac{0,0225 \text{ m}^3/s}{0,0025 \text{ m/s}}$$

$$A_s = 9,0 \text{ m}^2$$

- Carga Hidráulica ( $C_H$ ) a través de la Ec.46

$$C_H = \frac{Q_{md}}{B_s}$$

$$C_H = \frac{0,0225 \text{ m}^3/\text{s}}{3\text{m}}$$

$$C_H = 0,0075 \text{ m}^2/\text{s}$$

- Volumen del tanque sedimentador ( $V_{ts}$ ) a través de la Ec.47

$$V_{ts} = B_s * L_t * P_s$$

De la tabla 19-3 se toma el valor de la profundidad del sedimentador ( $P_s$ ) igual a 3 m porque es un sedimentador rectangular.

$$V_{ts} = 3\text{m} * 3\text{m} * 3\text{m}$$

$$V_{ts} = 27 \text{ m}^3$$

- Periodo de retención hidráulica ( $P_{RH}$ ) a través de la Ec.48

$$P_{RH} = \frac{V_{ts}}{Q_{md}}$$

$$P_{RH} = \frac{27 \text{ m}^3}{0,0225 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$P_{RH} = 1195,87 \text{ min}$$

### 3.4.9 Cálculo para el Filtro

- Caudal de diseño para cada filtro ( $Q_{df}$ ) a través de la Ec. 49

$$Q_{df} = \frac{Q_{md}}{nf}$$

El número de filtros ( $nf$ ) es de 3 porque la población de la parroquia Vuelta Larga está en el rango de 2000 – 10000 habitantes, valor tomado de la tabla 22-3, el cual está compuesto por carbón, arena y grava.

$$Q_{df} = \frac{0,0225 \text{ m}^3/\text{s}}{3}$$

$$Q_{df} = 0,0075 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Área del filtro ( $A_f$ ) a través de la Ec. 50

$$A_f = \frac{Q_{mt}}{\text{tasa de filtración}}$$

El valor de la tasa de filtración es 0,0016 m/s porque el número de filtros es 3.

$$A_f = \frac{0,0225 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0016 \text{ m/s}}$$

$$A_f = 4,63 \text{ m}^2$$

- Coeficiente mínimo de costo ( $K$ ) a través de la Ec. 51

$$K = \frac{2 * nf}{nf + 1}$$

$$K = \frac{2 * 3}{3 + 1}$$

$$K = 1,5$$

- Longitud del filtro ( $l$ ) a través de la Ec. 52

$$l = (A_f * K)^{1/2}$$

$$l = (4,63 \text{ m}^2 * 1,5)^{1/2}$$

$$l = 2,63 \text{ m}$$

- Ancho del filtro ( $b$ ) a través de la Ec. 53

$$b = \left( \frac{Af}{K} \right)^{1/2}$$

$$b = \left( \frac{4,63 \text{ m}^2}{1,5} \right)^{1/2}$$

$$b = 1,76 \text{ m}$$

- Altura del lecho filtrante ( $H_{LF}$ ) a través de la Ec. 54

$$H_{LF} = e_c + e_a + e_g$$

El espesor de cada material poroso carbón, arena y grava se obtiene de la tabla 21-3 los cuales fueron los mínimos porque el caudal de diseño es bajo.

$$H_{LF} = 0,45\text{m} + 0,30\text{m} + 0,15\text{m}$$

$$H_{LF} = 0,9 \text{ m}$$

- Altura del filtro ( $Z_f$ ) a través de la Ec. 55

$$Z_f = f_s(C_a + H_{LF} + C_s + F_c)$$

Los valores correspondientes a factor de seguridad ( $f_s$ ), capa de agua ( $C_a$ ), altura de la capa de soporte ( $C_s$ ) y altura de drenaje ( $F_c$ ) son tomados de la tabla 21-3 porque el caudal de diseño es inferior a  $0,10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

$$Z_f = 1(1,5 + 0,9 + 0,30 + 0,6)$$

$$Z_f = 3,3 \text{ m}$$

- Volumen del filtro ( $V_f$ ) a través de la Ec. 56

$$V_f = b * H_{LF} * Z_f$$

$$V_f = 1,76 \text{ m} * 0,9 \text{ m} * 3 \text{ m}$$

$$V_f = 15,26 \text{ m}^3$$

### 3.5.1 Cálculo de parámetros para el diseño del sistema de drenaje

- Área de los orificios laterales ( $A_o$ ) a través de la Ec. 57

$$A_o = \frac{\pi D_o^2}{4}$$

El diámetro de los orificios laterales ( $D_o$ ) es 0,004 m porque está compuesto de 3 filtros.

$$A_o = \frac{\pi(0,004\text{m})^2}{4}$$

$$A_o = 0,0000126 \text{ m}^2$$

- Caudal que ingresa a cada orificio ( $Q_o$ ) a través de la Ec. 58

$$Q_o = A_o * v_o$$

El valor de la velocidad de orificio ( $v_o$ ) se lo toma de la tabla 21-3 el cual es 0,3 m/s porque el filtro está compuesto de 3 filtros.

$$Q_o = 0,0000126 \text{ m}^2 * 0,3\text{m/s}$$

$$Q_o = 0,0000038 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Número de laterales ( $N_L$ ) a través de la Ec. 59

$$N_L = n_L \frac{L_f}{e_L}$$

Los valores del número de laterales por lado ( $n_L$ ), longitud del filtro ( $L_f$ ) y separación entre laterales ( $e_L$ ) son 2, 11m y 2m respectivamente porque el caudal de diseño es inferior a 0,10 m<sup>3</sup>/s tratándose de un filtro pequeño.

$$N_L = 2 \frac{11m}{2m}$$

$$N_L = 11 \text{ unidades}$$

- Diámetro de la tubería de entrada al filtro ( $D_T$ ) a través de la Ec. 60

$$D_T = \sqrt{\frac{4 * Q_{mt}}{\pi * v_e}}$$

De la tabla 21-3 se toma el valor de la velocidad de entrada ( $v_e$ ) el cuál es 1,4 m/s para el diseño de laterales porque el caudal es menor a 0,10 m<sup>3</sup>/s.

$$D_T = \sqrt{\frac{4 * 0,0225 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * 1,4\text{m/s}}}$$

$$D_T = 0,14 \text{ m}$$

- Diámetro de la tubería de salida del filtro a través de la Ec. 61

$$D_{TS} = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v_s}}$$

De la tabla 21-3 se toma el valor de la velocidad de entrada ( $v_s$ ) el cuál es 0,5 m/s para el diseño de laterales porque el caudal es menor a 0,10 m<sup>3</sup>/s.

$$D_{TS} = \sqrt{\frac{4 * 0,0225 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * 0,5\text{m/s}}}$$

$$D_{TS} = 0,24 \text{ m}$$

### 3.5.3 Porcentajes de remoción

Ecuación. 62

$$\% \text{ Remoción} = \frac{\text{Análisis Final}}{\text{Análisis Inicial}} * 100$$

Ecuación 63

$$\% \text{ Removido} = 100 - \% \text{ Remoción}$$

- Demanda Química de Oxígeno (DQO)

$$\% \text{ Remoción} = \frac{98}{448} * 100$$

$$\% \text{ Remoción} = 21,88 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 100 \% - 21,88 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 78,12 \%$$

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

$$\% \text{ Remoción} = \frac{63}{150} * 100$$

$$\% \text{ Remoción} = 42 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 100 \% - 42 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 58 \%$$

- Nitrógeno Total Kjeldahl

$$\% \text{ Remoción} = \frac{7}{64} * 100$$

$$\% \text{ Remoción} = 10,94 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 100 \% - 10,94 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 89,06 \%$$

- Coliformes Fecales

$$\% \text{ Remoción} = \frac{0}{170000} * 100$$

$$\% \text{ Remoción} = 0 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 100 \% - 0 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 100 \%$$

- Coliformes Totales

$$\% \text{ Remoción} = \frac{0}{280000} * 100$$

$$\% \text{ Remoción} = 0 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 100 \% - 0 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 100 \%$$

- Turbidez

$$\% \text{ Remoción} = \frac{26}{179} * 100$$

$$\% \text{ Remoción} = 14,53 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 100 \% - 14,53 \%$$

$$\% \text{ Removido} = 85,47 \%$$



### 3.6 Resultados

#### 3.6.1 Resultados del tratamiento

**Tabla 26-3** Resultados del tratamiento *Opuntia ficus indica* (TUNA).

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	*LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
pH	Und.	4500-B	7,17	6-9
Color	Und. Co/Pt	2120-C	141	-
Turbiedad	NTU	2130-B	26	-
Temperatura	°C	2550-B	21	-
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	540	-
Aceites y Grasas	mg/L	2530-C	7	30
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	98	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	63	100
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	5	10
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	HACH 10072	7	50
Sulfatos	mg/L	4500 SO4 - E	146	1000
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	290	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2540-C	14	130
Sólidos Sedimentables	mg/L	2540-B	0	-
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	341	1600
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	9222 - B	Ausencia	2000
Coliformes Totales	UFC/100mL	9222 - B	Ausencia	2000

**Fuente:** Laboratorio de calidad del agua – ESPOCH. / \* 097-A TULSMA. Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

#### 3.6.2 Resultados de la población futura

**Tabla 27-3** Resultados de la población futura

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Población Actual	Pa	2997	Hab
Población futura	Pf	7993	Hab

**Elaborado por:** Valdez, S., 2017

### 3.6.3 Resultados de los Caudales

**Tabla 28-3** Resultados de los caudales

CAUDAL	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Caudal medio teórico	$Q_{mt}$	0,00740	m <sup>3</sup> /s
Caudal máximo teórico	$Q_{max.t}$	0,02257	m <sup>3</sup> /s
Caudal medio de diseño	$Q_{md}$	0,00750	m <sup>3</sup> /s
Caudal máximo de diseño	$Q_{max.d}$	0,02268	m <sup>3</sup> /s

Elaborado por: Valdez, S., 2017

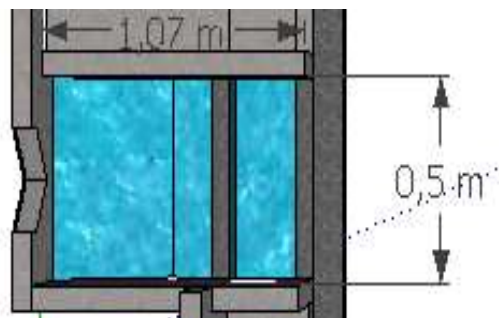
### 3.6.4 Resultados del Dimensionamiento del Sistema de Tratamiento

#### 3.6.4.1 Canal

**Tabla 29-3** Resultados del dimensionamiento del canal

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Ancho del canal	B	0,5	m
Radio hidráulico	L	0,15	m
Altura total del canal	H	0,49	m
Pendiente	S	0,0002	m
Velocidad	V	0,31	m/s

Elaborado por: Valdez, S., 2017



**Gráfico 1-3** Canal

Elaborado por: Valdez, S., 2017

### 3.6.4.2 *Rejillas*

**Tabla 30-3** Resultados del dimensionamiento de rejillas

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Número de barras	Nb	16	Adimensional
Longitud de barras	LB	0,69	m
Área libre entre barra	A <sub>L</sub>	0,024	m <sup>2</sup>
Pérdida de carga en rejilla	h <sub>c</sub>	0,016	m

Elaborado por: Valdez, S., 2017



**Gráfico 2-3** Rejillas

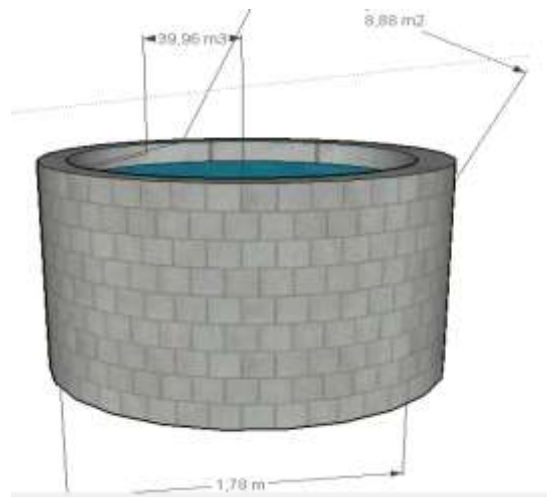
Elaborado por: Valdez, S., 2017

### 3.6.4.3 *Ecualizador*

**Tabla 101-3** Resultados del dimensionamiento del ecualizador

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Volumen	V <sub>ec</sub>	39,96	m <sup>3</sup>
Área	A <sub>T</sub>	8,88	m <sup>2</sup>
Ancho	A	1,77	m

Elaborado por: Valdez, S., 2017



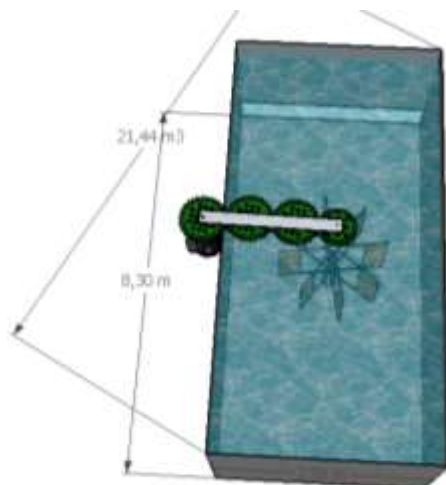
**Gráfico 3-3** Ecualizador  
Elaborado por: Valdez, S., 2017

#### 3.6.4.4 Coagulador Floculador

**Tabla 32-3** Resultados del dimensionamiento del coagulador floculador

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Área canal del coagulador floculador	$A_F$	0,072	$m^2$
Ancho canal del coagulador floculador	$a$	0,072	m
Ancho de las vueltas del tramo de floculación	$d$	0,11	m
Ancho del coagulador floculador	$B_f$	2,58	m
Longitud efectiva del canal	$LE$	2,48	m
Número de canales	$N_c$	73	unidades
Longitud del coagulador floculador	$L$	8,34	m
Volumen del coagulador floculador	$V_F$	21,53	$m^3$

Elaborado por: Valdez, S., 2017



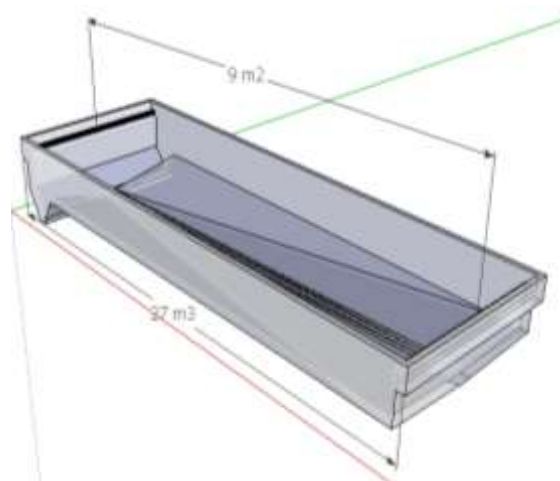
**Gráfico 4-3** Coagulador Floculador  
**Elaborado por:** Valdez, S., 2017

#### 3.6.4.5 Sedimentador

**Tabla 33-3** Resultados del dimensionamiento del sedimentador

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Zona de Entrada			
Área total de orificios	$A_o$	0,2267	$m^2$
Área de sección circular	$a_o$	0,0019	$m^2$
Número de orificios	$n_o$	116	orificios
Zona de Sedimentación			
Longitud total	$L_t$	3	m
Velocidad de sedimentación	$v_s$	0,0025	m/s
Área superficial	$A_s$	9,0	$m^2$
Carga hidráulica	$C_H$	0,0075	$m^2/s$
Volumen del sedimentador	$V_{ts}$	27	$m^3$

**Elaborado por:** Valdez, S., 2017



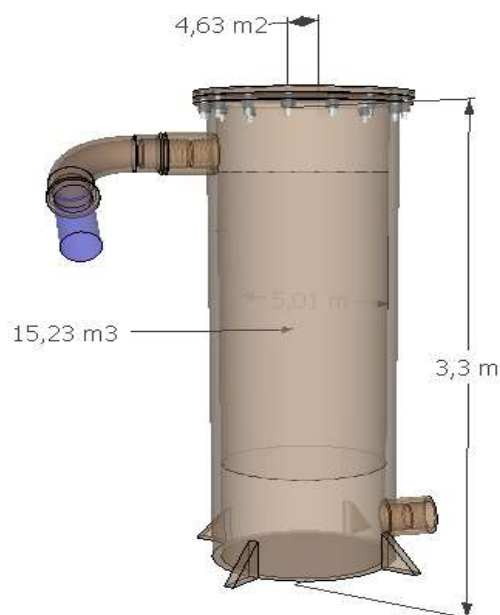
**Gráfico 5-3** Sedimentador  
Elaborado por: Valdez, S., 2017

#### 3.6.4.6 Filtro dual con medios múltiples

**Tabla 34-3** Resultados del dimensionamiento del filtro

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Número de filtros	$N_F$	3	-
Área del filtro	$A_f$	4,63	$m^2$
Coefficiente mínimo de costo	$K$	1,5	-
Longitud del filtro	$l$	2,63	m
Ancho del filtro	$b$	1,75	m
Altura del lecho filtrante	$N_{LF}$	0,9	m
Altura del filtro	$Z_f$	3,3	m
Volumen del filtro	$V_F$	15,26	$m^3$
SISTEMA DE DRENAJE			
Área de los orificios laterales	$A_o$	0,0000125	$m^2$
Número de laterales	$N_L$	11	unidades
Diámetro de la tubería de entrada	$D_T$	0,14	m
Diámetro de la tubería de entrada	$D_{TS}$	0,29	m

Elaborado por: Valdez, S., 2017



**Gráfico 6-3** Filtro  
Elaborado por: Valdez, S., 2017

### 3.6.5 Cumplimiento de parámetros con la normativa ambiental TULSMA

En las siguientes tablas se detalla el cumplimiento de la normativa del A-097 TULSMA de los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. Tabla 9 de los parámetros que estaban fuera de norma

**Tabla 35-3** Cumplimiento de la norma

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 – D mod	98	*200
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	STANDARD METHODS 5210 - B	63	*100
Coliformes Totales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 - B	Ausencia	*2000
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 - B	Ausencia	*2000
Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 – N – B mod	7	*50

**Fuente:** Laboratorio de calidad del agua – ESPOCH. / \* 097-A TULSMA. Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

**Tabla 36-3** Cumplimiento de la Norma (validación)

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 – D mod	72	*200
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	STANDARD METHODS 5210 – B	33,40	*100
Coliformes Totales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 – B	Ausencia	*2000
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 – B	<2 (Ausencia)	*2000
Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 – N – B mod	1,32	*50

**Fuente:** Laboratorio de servicios ambientales – UNACH / \* 097-A TULSMA. Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

### 3.6.6 Evaluación del poder coagulante

Del coagulante natural obtenido se realizó una disolución de 1,0 g del mismo en 100 ml de agua destilada de la cual se tomaron varias concentraciones y se aplicaron a través de la prueba de jarras: 2ml; 2,5ml; 3ml; 3,5ml y 4 ml con la finalidad de encontrar con la dosis optima la cual fue de 3,5 ml más una gota de PAC (Ver Anexo F).

### 3.6.7 Porcentaje de remoción de los parámetros que no cumplen con la normativa ambiental TULSMA

**Tabla 37-3** Porcentajes de remoción

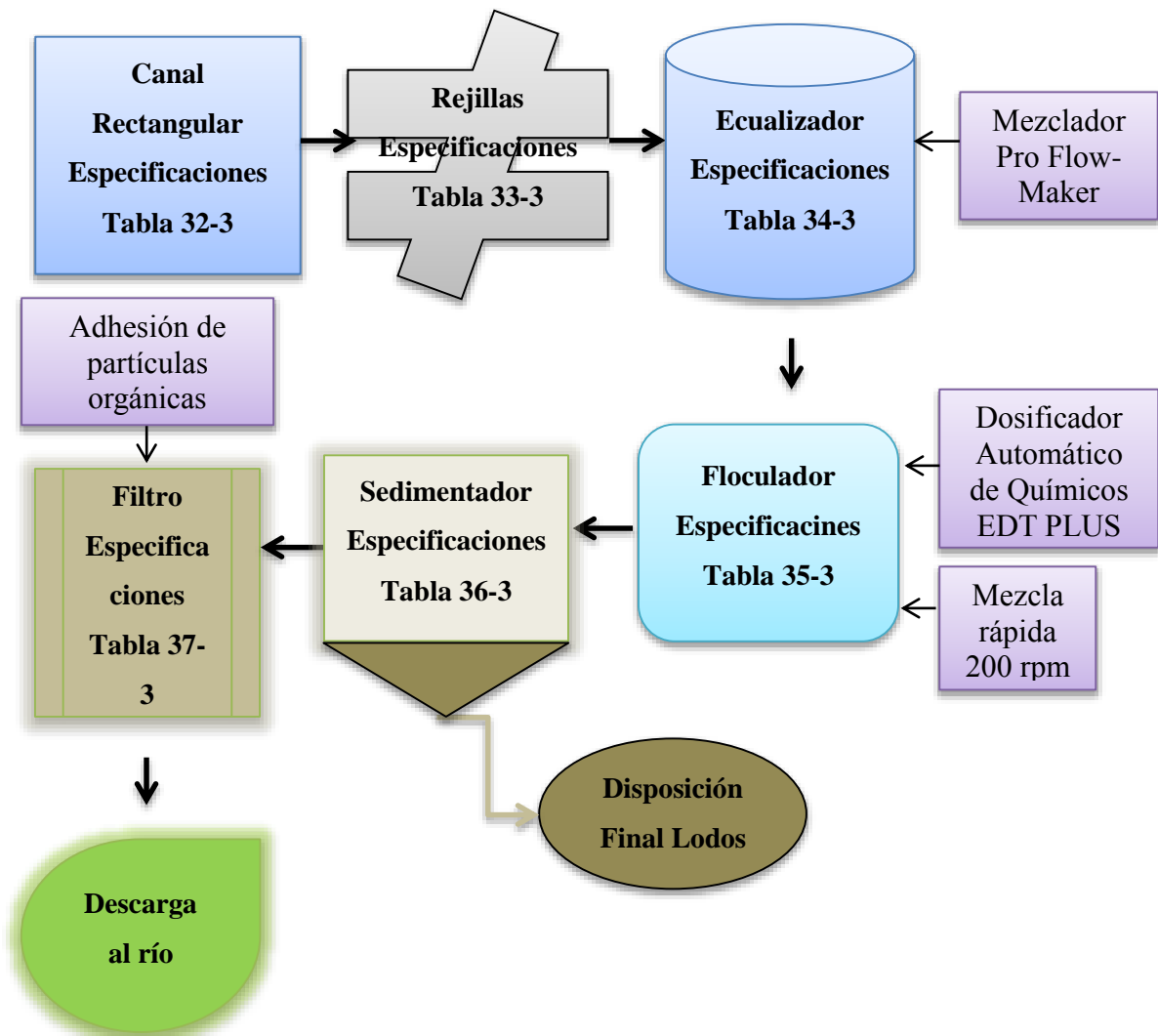
PARÁMETRO	PORCENTAJE REMOVIDO (%)
DQO	78,12
DBO <sub>5</sub>	58
Nitrógeno Total	89,06
Coliformes Fecales	100
Coliformes Totales	100
Turbidez	85,47

**Elaborado por:** Valdez, S., 2017



### 3.7 Propuesta

Para la parroquia Vuelta Larga del cantón Esmeraldas se presenta el siguiente sistema de tratamiento de aguas residuales el cual tiene los siguientes procesos:



### 3.8 Presupuesto

**Tabla 38-3** Costo planta de tratamiento

Especificaciones	Unidades	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total (\$)
<b>PREPARACIÓN DEL TERRENO</b>				
Limpieza y Desbroce	m <sup>2</sup>	1200	3	3600
Excavación y Nivelación del Terreno	m <sup>2</sup>	1200	6	7200
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 10800</b>
<b>CANAL DE ENTRADA</b>				
Replanto H.S. 140 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	1	90,11	90,1
Hormigón simple f'c=240 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	1,50	180	270,3
Enlucido impermeabilizante	m <sup>2</sup>	5,32	9,25	49,2
Malla Electrosoldada 10x10x6mm	m <sup>2</sup>	3,2	4,68	15,0
Tubería PVC 50mm	m	6	4,5	27,0
Codo PVC 50mm	u	2	1,5	3,0
Desalojo del Material	m <sup>3</sup>	4	5,5	22,0
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 476,3</b>
<b>REJILLAS</b>				
Marco de Hierro	m <sup>2</sup>	2	3,66	7,3
Barras de Hierro	m <sup>2</sup>	16	2,5	40,0
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 47,3</b>
<b>ECUALIZADOR</b>				
Replanto H.S. 140 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	8.80	90.11	792,97
Hormigón simple F' C=240 Kg/ cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	10.75	180	1935,5
Enlucido con impermeabilizante	m <sup>2</sup>	12.00	9,25	111
Malla electro soldada 10x10x6mm	m <sup>2</sup>	13	4,68	60,84
Bombas sumergibles Inox	unidades	2	300	600
Mezclador Pro Flow-Maker	unidades	1	1500	1500
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 5000,31</b>

<b>COAGULADOR FLOCULADOR</b>				
Replanteo H.S. 140 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	11	90.11	991,21
Hormigón simple F`C=240 Kg/ cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	9	180	1620
Enlucido con impermeabilizante	m <sup>2</sup>	9	9,25	83,25
Malla electro soldada 10x10x6mm	m <sup>2</sup>	10	4,68	46,8
Mezclador	unidades	2	324	648
Motor 4,5 kw	unidades	1	750	750
Dosificador Automático de Químicos EDT PLUS	unidades	1	3000	3000
			<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$7139,26</b>
<b>SEDIMENTADOR RECTANGULAR</b>				
Replanteo H.S. 140 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	11	90.11	991,21
Hormigón simple F`C=240 Kg/ cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	9	150	1350
Enlucido con impermeabilizante	m <sup>2</sup>	9	9,25	83,25
Malla electro soldada 10x10x6mm	m <sup>2</sup>	8	4,68	37,44
Tubería PVC 50 mm	m <sup>2</sup>	9	4,5	40,5
Codo PVC 50 mm	m <sup>2</sup>	9	1,5	13,5
Tanque Lodos	m <sup>2</sup>	3	55	165
			<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 2680,9</b>
<b>FILTRO DÚAL</b>				
Replanteo H.S. 140 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	10	90.11	901,1
Hormigón simple F`C=240 Kg/ cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	8	150	1200
Enlucido con impermeabilizante	m <sup>2</sup>	5	9,25	46,25
Malla electro soldada 10x10x6mm	m <sup>2</sup>	6	4,68	28,08
Tubería PVC 50 mm	m <sup>2</sup>	4	4,5	18
Codo PVC 50 mm	m <sup>2</sup>	4	1,5	6
Carbón Activado	m <sup>2</sup>	13	28	2912
Grava	m <sup>2</sup>	13	15	195
Arena	m <sup>2</sup>	13	9,5	123,5
			<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 5429,23</b>
			<b>TOTAL = 31574,12 \$</b>	

Elaborado por: Valdez, S., 2017

**Tabla 39-3** Costos de Coagulantes

Cantidad de Coagulantes	Precio de Coagulantes
$C_{TUNA} = 0,75 \text{ g/día}$	$P_{TUNA} = 1,61 \text{ \$/día}$
$C_{PAC} = 0,214 \frac{\text{g}}{\text{día}}$	$P_{PAC} = 0,00019 \text{ \$/día}$
$C_{TUNA} + C_{PAC} = 0,964 \frac{\text{g}}{\text{día}}$	$P_{TUNA} + P_{PAC} = 1,62 \text{ \$/día}$

Elaborado por: Valdez, S., 2017

### 3.9 Análisis y Discusión de Resultados

En la parroquia Vuelta Larga del Cantón Esmeraldas se genera una gran cantidad de aguas residuales esto como consecuencias de las diferentes actividades humanas, las cuales son descargadas directamente al Río Teaone sin un previo tratamiento lo que genera un alto grado de contaminación a este afluente.

En la caracterización fisicoquímica que se realizó para determinar con exactitud cuáles son los parámetros que están contaminando el Río de dicha parroquia se obtuvieron los siguientes resultados: Demanda Química de Oxígeno (DQO) 448 mg/L, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) 150 mg/L, Nitrógeno Total 64 mg/L, Coliformes Fecales  $1,7 \times 10^5$  UFC/100 mL y Coliformes Totales 280000  $2,8 \times 10^5$  UFC/100 mL valores que al ser comparados con la Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce del TULSMA se pudo evidenciar su contaminación (Ver Tabla 3-1).

Uno de los puntos fundamentales de este proyecto fue tratar estas aguas con un coagulante natural extraído a partir de la planta de *Opuntia ficus indica* (TUNA) reemplazando en gran mayoría a los agentes químicos de tal manera que se genere una menor contaminación en el subproducto (lodos) de todo el proceso, para lo cual se efectuó una solución de 1,0 g del polvo de *Opuntia ficus indica* (TUNA) obtenido en 100 ml de agua destilada de la cual se aplicaron varias dosis en la prueba de jarras con

el objetivo de encontrar la dosis ideal la cual fue 3,5 ml más una gota de PAC como ayudante de tal forma que se pueda aumentar el porcentaje de remoción del DQO, el cual se encuentra en proporciones cuantiosas.

Posterior al tratamiento se adquirieron resultados favorables, cumpliendo con la Normativa expuesta por el TULSMA, Demanda Química de Oxígeno (DQO) 98 mg/L, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) 63 mg/L, Nitrógeno Total 7 mg/L, y ausencia de Coliformes Fecales. (Ver Tabla 36-3).

Los porcentajes de remoción alcanzados después del tratamiento son los siguientes: DQO 78,12 %, DBO<sub>5</sub> 58 %, Nitrógeno Total 89,06 %, Coliformes Fecales 100%, Coliformes Totales 100% y Turbidez 85,47 % obteniéndose un ventajoso barrido con el coagulante natural, lo que lo hace factible dentro de todo el proceso. (Ver Tabla 37-3).

De acuerdo a lo descrito precedentemente se puede notar que a pesar de que se obtienen altos porcentajes de remoción empleando el coagulante natural extraído de la hoja de *Opuntia ficus indica* (tuna) siendo factible técnicamente este procedimiento, sin embargo en cuantos a costos resultan más elevados que los coagulantes químicos convencionales por los diferentes procesos de obtención de los mismos pero esto es justificable desde el punto de vista ambiental ya que los productos químicos convencionales a largo plazo causan daños irreparables al medio, además de indicar mayores costos o inversión a corto plazo para las empresas, genera un ahorro significativo a un periodo extenso en cuanto a medidas de remediación que tendrían que aplicar en caso de reparar daños causados por estos productos químicos.

En lo que se refiere al dimensionamiento de la planta se obtuvieron los siguientes resultados:

- Población de diseño

Aquí se determinó la población futura tomando en cuenta una tasa de crecimiento del 3,7% para un periodo de 27 años la población será de 7993 habitantes (Ver Tabla 27-3).

- Caudal de diseño

Los caudales de diseño obtenidos son 7,50 L/s como caudal medio y 22,60 L/s el caudal máximo (Ver Tabla 28-3). Valores que son bajos debido a que la población de la Parroquia Vuelta Larga es pequeña por ende el sistema de tratamiento de aguas residuales del sector constara de equipos cuyos volúmenes y áreas tendrá un tamaño moderado.

- Canal

El canal o vertedero de llegada será de forma rectangular debido a que el caudal máximo es mayor a 20 L/s, el mismo tendrá una pendiente de 0,0002 m ya que recibirá el efluente a tratar con una velocidad de diseño de 0,31 m/s y deberá ser elaborado a base de hormigón con un ancho de 0,5 m y una altura de 0,49 m (Ver Tabla 29-3).

- Rejillas

Las rejillas serán de limpieza manual debido a que el caudal máximo de diseño es menor a 0,05 m<sup>3</sup>/s con un ángulo de inclinación de 45° ya que favorecerá la limpieza de las barras las cuales serán 16 en total cada una con una longitud de 0,69 m, un espesor de 0,001 m y un área libre entre barra de 0,024 m<sup>2</sup> lo que coadyuvará a retener sólidos muy grandes evitando daños considerables en los diferentes equipos que componen la planta de tratamiento (Ver Tabla 30-3).

- Ecualizador

Se efectuó el diseño de este tanque debido a que el caudal del sector es muy variado lo que puede provocar que se dé una alteración en la dosis del coagulante y entorpecer el procedimiento, con la implementación de dicho tanque se conseguirá amortiguar las variaciones de caudal para tener un caudal aproximadamente constante mejorando la eficiencia de todo el procedimiento de tratamiento, dicho tanque tendrá un volumen de 39,97 m<sup>3</sup> y un área de 8,88 m<sup>2</sup> (Ver Tabla 31-3).

- Coagulador Floculador

El coagulador floculador será de flujo hidráulico horizontal debido a que el caudal máximo de diseño del sector es inferior a 50 L/s en donde el efluente se trasladará de forma horizontal entre dos tabiques sucesivos en donde realizará el giro al final de cada uno adquiriendo una dispersión homogénea del coagulante natural extraído de la hoja de *Opuntia ficus indica* (TUNA) acrecentando el procedimiento de coagulación y floculación en el respectivo sistema de tratamiento, dicho equipo tendrá un volumen de 21,53 m<sup>3</sup> (Ver Tabla 32-3).

- Sedimentador

El sedimentador permitirá que los floculos que se formen precipiten en el fondo del tanque por acción de la gravedad aclarando y eliminando los contaminantes presentes en el agua residual, será de forma rectangular debido a los valores bajos de caudales de diseño calculados anteriormente, dividido en cuatro zonas bien diferenciadas que son: zona de entrada, de sedimentación, de recolección de lodos y salida. De tal manera que el proceso de sedimentación sea satisfactorio. Su volumen será de 27 m<sup>3</sup> con un área de 9 m<sup>2</sup> (Ver Tabla 33-3).

- Filtro

El filtro pertinente al sistema de tratamiento constará de tres lechos filtrantes debido a que el caudal del proceso es bajo y a que el agua residual del sector no está exageradamente contaminada los cuales son: carbón activado, grava y arena, excluyendo olores repulsivos y acrecentando las condiciones del efluente procedente del sedimentador, cada lecho tendrá una altura de 0,9 m, un ancho de 1,75 m y el filtro un volumen de 15,26 m<sup>3</sup> con un área de 4,63 m<sup>2</sup> (Ver Tabla 34-3).

## CONCLUSIONES

- La caracterización física, química y biológica que se efectuó a las aguas residuales de la Parroquia Vuelta Larga del Cantón Esmeraldas permitió identificar los parámetros que están fuera de límite según el Acuerdo Ministerial 387 del 4 de Noviembre de 2015. Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA) los cuales son: Demanda Química de Oxígeno (DQO) 448 mg/L, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) 150 mg/L, Nitrógeno Total 64 mg/L, Coliformes Fecales  $1,7 * 10^5$  UFC/100 mL y Coliformes Totales 280000  $2,8 * 10^5$  UFC/100 mL.
- De acuerdo a los valores adquiridos en la caracterización inicial física, química y biológica se puede conocer la relación entre el DBO<sub>5</sub> y DQO dando como resultado una biodegradabilidad media, lo que hace factible el uso de un método natural para el respectivo tratamiento de aguas residuales del sector.
- La tratabilidad del agua se llevó a cabo mediante el empleo de un coagulante natural obtenido a partir de la hoja de Opuntia ficus indica (TUNA), en donde se hizo una solución del mismo y se efectuaron varias pruebas a diferentes concentraciones: 0,01; 0,05 y 0,1 mg/L con la finalidad de encontrar la dosis ideal para el tratamiento adecuado cuya dosis óptima es de 3,5 ml a 0,01 de concentración más 0,1 ml de PAC a 0,1 mg/L de concentración como ayudante logrando estabilizar los parámetros que estaban fuera de límite de acuerdo a la normativa TULSMA.
- Según la tratabilidad del agua y ecuaciones de diseño propuestas por bibliografías se desarrollaron los cálculos de ingeniería de cada equipo para el respectivo dimensionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales



para la parroquia Vuelta Larga del Cantón Esmeraldas el cual consta de: un canal rectangular, rejillas, un ecualizador, un coagulador floculador, un sedimentador rectangular y un filtro.

- El costo de implementación del presente proyecto es de \$ 31574,12 (treinta y un mil quinientos setenta y cuatro y doce centavos) el mismo está comprendido desde la preparación del terreno a la construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales de manera que se cumpla con los parámetros establecidos en el Acuerdo Ministerial 387 del 4 de Noviembre de 2015. Tabla 9, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce del TULSMA.

## RECOMENDACIONES

- Utilizar como alternativa a los agentes químicos coagulantes naturales extraídos de diferentes especies vegetales como: almidón, moringa, *cassia obtusifolia*, *jatropla curcas*, *semillas nirmali* de tal manera que se pueda reemplazar en gran parte o por completo el consumo de coagulantes sintéticas atenuando los impactos al medio ambiente.
- Para extraer el coagulante natural de la hoja de *Opuntia ficus indica* (TUNA) y poder tener excelentes resultados en el respectivo empleo, es necesario que la hoja se encuentre en estado de madurez de tal forma que el mucílago de la planta no sufra ningún cambio significativo frente a las diferentes operaciones unitarias que es sometido en la obtención del coagulante.
- Aplicar nuevas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales como electrocoagulación, electrodiálisis, electrooxidación, electroflotación, electrodeposición, etc. Porque dichos procesos son más eficientes que los convencionales y generan un menor porcentaje de contaminación hacia el medio.
- Aprovechar el subproducto (lodos) del tratamiento de aguas residuales mediante diferentes técnicas de estabilización de residuos orgánicos como: compostaje de tal manera que se los pueda utilizar en otros campos como la agricultura.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**ALMENDÁREZ, N.** Comprobación de la efectividad del coagulante (cochifloc) en aguas del lago de Managua "Piedras Azules". Revista Iberoamericana de Polímeros. 5(1): 2004., pp. 46-54.

**ANQUE.** Diseño y explotación de sistemas de depuración de aguas residuales en pequeños núcleos y comunidades. Asociación Nacional de Químicos Españoles, Agrupación Territorial de Castilla la Mancha, Sección Técnica de Medio Ambiente. 1994.

**CAMPOS** José Roberto & Di Bernardo, Op. Cit., p.39.

**DAPHNE.** Tratamiento Biológico de Aguas Residuales. Estudio bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia Ficus -indica*) para el consumo humano. 1994. [Consulta: 1 de Julio de 2017]. Disponible en:

[http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/Tratamiento\\_biologico\\_edar.pdf](http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/Tratamiento_biologico_edar.pdf).

**GOBIERNO AUTÓNOMO DECENTRALIZADO MUNICIPAL VUELTA LARGA ESMERALDAS.** [En línea] [Citado el: 28 de JUNIO de 2017]. Disponible en:

<http://www.vueltalarga.gob.ec/index.php/ct-menu-item-17/ct-menu-item-35>.

**GARCÍA B.** “Metodología de extracción in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo”, Director: Dr. José Miguel Arnal Arnal. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Valencia. 2007., pp. 1-103.

**GARCÍA ET AL**, Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población: Mejora de la calidad de los efluentes., 1era edición., Canarias., 2006., pp. 21-24.

**GUZMÁN, D., CHAVÉZ, J.** Estudio bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia Ficus-indica*) para el consumo humano. Revista de la Sociedad Química del Perú., 2007., pp. 41-45.

**IBÁÑEZ J A, BERNÁ L M y VALERDI R.** Desalación por membranas. 1º edición. Murcia. DM. 1997.

**LÓPEZ, E.** Utilización de Productos Naturales en la Clarificación de Aguas para Consumo Humano. Universidad de la Habana, La Habana, Cuba., 2000.

**METCALF, Y EDDY.** Tratamiento y depuración de las aguas residuales. 3A Ed. España, McGraw Hill, 1995., Pp. 237 – 387, 507-705

**MINISTERIO DEL AMBIENTE ECUADOR.** Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULSMA): Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. Vol. 6, tabla 9.

**MONTOYA HENAO, Susana.** Industrialización de la Yuca: Obtención de almidón nativo y sus aplicaciones. pp. 7

**NOYOLA, MORGAN & GUERECÁ.,** Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas., 1ra edición., México., 2013., pp.13-19.

**NTE INEN 2 169:98.** Agua Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de Muestras.

**OSMONICS.** Pure water handbook. 2nd edition. Minnetonka. Osmonics, Inc. 1997.

**PASCUAL DEL RIQUELME, Mercedes.** Agua y Sostenibilidad en los Procesos Productivos De Cuencas Deficitarias: Cátedra del Agua y de la Sostenibilidad. Universidad de Murcia, 2016.

**ROMERO ROJAS, J. A.** Lagunas de estabilización de aguas residuales (Primera Edición ed.). Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002.

**ROMERO, J.** Tratamiento de aguas residuales, Teoría y principios de diseño. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008.

**SCIBAN M, KLASNJA M, ANTOV M, y SKRBIC B.** Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn, Bioresource Technology., 2009, pp. 100: 6639 – 6643.

**VALDEZ, C, y VÁZQUEZ, A.** Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. México D.F: Fundación ICA, 2003.Pp. 59-81, 90 - 94, 97 - 103-133, 255 - 263.

**VARGAS, LIDIA.** *Procesos Unitarios y Plantas de Tratamiento*. [En línea] [Citado el: 1 de Julio de 2017.] Disponible en:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomoI/tres.pdf>

**VIDAL ET AL.,** Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas. Red ALFA TECSPAR., 1era edición., pp. 33-37

**Z. ABIDIN, N. SHAMSUDIN, N. MADEHI, S. SOBRI.** *“Optimisation of a method to extract the active coagulant agent from Jatropha curcas seeds for use in turbidity removal”*. *Industrial Crops and Products*. Vol. 41. 2013. pp. 319-323.

**ANEXOS**

### ANEXO A. Caracterización inicial del agua residual



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  ELABORADO POR:  Valdez Rosales Saul David	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
Caracterización inicial del agua residual	<div><div><input type="checkbox"/> Aprobado</div><div><input type="checkbox"/> Certificado</div><div><input type="checkbox"/> Información</div></div> <div><div><input type="checkbox"/> Preliminar</div><div><input type="checkbox"/> Por aprobar</div><div><input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</div></div>		LÁM:	ESC:	FECHA:
			1	1:4	2015/11/09



## ANEXO B. Resultados de la Caracterización Inicial

# ESPOCH

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Saul Valdez Rosales

Fecha de Análisis: 18/09/2017

Tipo de muestras: Agua Residual Doméstica cruda

Localidad: Parroquia Vuelta Larga – Cantón Esmeraldas

### TRABAJO DE TITULACIÓN

Determinaciones	Unidades	*Método	Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	6-9	7,87
Color	Und. Co/Pt	2120-C	-	810
Turbiedad	NTU	2130-B	-	179
Temperatura	°C	2550-B	-	24
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	-	905
Aceites y Grasas	mg/L	2530-C	30	12
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	448
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	150
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	10	7,92
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	HACH 10072	50	64
Sulfatos	mg/L	4500 SO <sub>4</sub> - E	1000	262
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	-	460
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2540-C	130	101
Sólidos Sedimentables	mg/L	2540-B		500
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	1385
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	9222 - B	2000	170000
Coliformes Totales	UFC/100mL	9222 - B	2000	280000

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\* 097-A TULSMA. Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Observaciones:

Atentamente,

  
Dr. Gina Álvarez R. ESPOCH  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



### ANEXO C. Secado de la Hoja de Tuna



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA  ELABORADO POR:  Valdez Rosales Saul David	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
SECADO DE LA HOJA DE TUNA	<input type="checkbox"/> Aprobado		<input type="checkbox"/> Preliminar		
	<input type="checkbox"/> Certificado		<input type="checkbox"/> Por aprobar		
	<input type="checkbox"/> Información		<input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		
			LÁM:	ESC:	FECHA:
			2	1:4	2017/10/09

### ANEXO D. Triturado y Tamizado de la planta de Tuna



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
TRITURADO Y TAMIZADO DE LA PLANTA DE TUNA	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	ELABORADO POR: Valdez Rosales Saul David	LÁM:	ESC:	FECHA:
			3	1:4	2017/10/09



## ANEXO E. Extracción de la Clorofila



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  ELABORADO POR:  Valdez Rosales Saul David	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES			
EXTRACCIÓN DE LA CLOROFILA POR SOXHLET	<input type="checkbox"/> Aprobado		<input type="checkbox"/> Preliminar			
	<input type="checkbox"/> Certificado		<input type="checkbox"/> Por aprobar			
	<input type="checkbox"/> Información		<input checked="" type="checkbox"/> Por calificar			
			LÁM:	ESC:	FECHA:	
			4	1:4	2017/10/09	

## ANEXO F

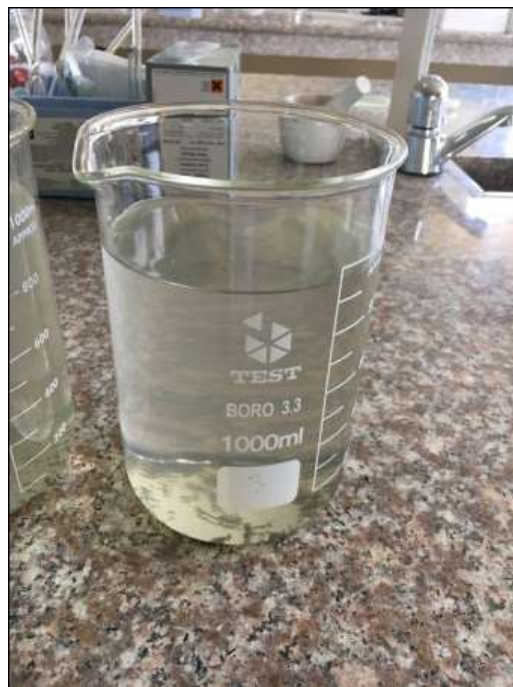
### EVALUACIÓN DEL PODER DEL COAGULANTE NATURAL EXTRAÍDO A PARTIR DE LA HOJA DE TUNA

Determinaciones	Unidades	*Método	Agua Cruda	T .Natural	T. Natural + Ayudante	T. Químico	Límites
pH	Und.	4500-B	7,87	7,35	7,17	7,05	6-9
Color	Und. Co/Pt	2120-C	810	409	141	36	-
Turbiedad	NTU	2130-B	179	32	26	7	-
Temperatura	°C	2550-B	24	20	21	20	-
Conductividad	$\mu$ Siems/cm	2510-B	905	735	540	650	-
Aceites y Grasas	mg/L	2530-C	12	10	7	5	30
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	448	277	98	76	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	150	98	63	35	100
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	7,92	5,49	5	4,21	10
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	HACH 10072	64	35	7	2	50
Sulfatos	mg/L	4500 SO <sub>4</sub> - E	262	148	146	144	1000
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	460	389	290	325	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2540-C	101	15	14	2	130
Sólidos Sedimentables	mg/L	2540-B	500	200	0	0	
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1385	431	341	392	1600
Coliformes Fecales	UFC/100mL	9222 - B	170000	5200	Ausencia	Ausencia	2000
Coliformes Totales	UFC/100mL	9222 - B	280000	7500	Ausencia	148	2000

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\* 097-A TULSMA. Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

## ANEXO G. Agua Tratada



NOTAS:		CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR:  Valdez Rosales Saul David	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
AGUA TRATADA	<div><div><input type="checkbox"/> Aprobado</div><div><input type="checkbox"/> Certificado</div><div><input type="checkbox"/> Información</div></div> <div><div><input type="checkbox"/> Preliminar</div><div><input type="checkbox"/> Por aprobar</div><div><input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</div></div>			LÁM:	ESC:	FECHA:
				5	1:4	2017/11/01

## ANEXO H. Resultados de la caracterización del agua tratada (Validación)



### LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



Nº SE: 261-17

#### INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Saúl Valdez **INFORME Nº** 261- 17  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH **Nº SE:** 261-17  
**DIRECCIÓN:** Los Álamos 3  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 17 - 10 -17  
**TELÉFONO:** 0994167293 **FECHA DE INFORME:** 24 - 10- 17  
**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1, Agua residual doméstica, Parroquia Vuelta Larga, Cantón Esmeraldas **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA - 465-17 Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

#### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 465-17

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	72	N/A	17 - 10 -17
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	33,40	N/A	17 - 10 -17
* Coliformes Totales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 - B	142	N/A	17 - 10 -17
* Coliformes Fecales	NMP/100 ml	STANDARD METHODS 9221 - B	< 2 (Ausencia)	N/A	17 - 10 -17
* Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - N - B mod	1,32	N/A	17 - 10 -17

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

#### RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara  
Benito Mendoza T., Ph.D.

Dr. Juan Carlos Lara R.  
TECNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.



## ANEXO I. Resultados de la caracterización del agua tratada 1

# ESPOCH

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Saul Valdez Rosales

Fecha de Análisis: 18/10/2017

Tipo de muestras: Agua Residual Doméstica Tratada

Tipo de Tratamiento: Natural

Localidad: Parroquia Vuelta Larga – Cantón Esmeraldas

### TRABAJO DE TITULACIÓN

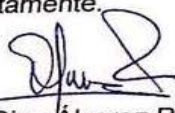
Determinaciones	Unidades	*Método	Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	6-9	7,35
Color	Und. Co/Pt	2120-C	-	409
Turbiedad	NTU	2130-B	-	32
Temperatura	°C	2550-B	-	20
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	-	735
Aceites y Grasas	mg/L	2530-C	30	10
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	277
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	98
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	10	5,49
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	HACH 10072	50	35
Sulfatos	mg/L	4500 SO <sub>4</sub> - E	1000	148
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	-	389
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2540-C	130	15
Sólidos Sedimentables	mg/L	2540-B	-	200
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	431
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	9222 - B	2000	5200
Coliformes Totales	UFC/100mL	9222 - B	2000	7500

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\* 097-A TULSMA. Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Observaciones:

Atentamente,

  
Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS





## ANEXO J. Resultados de la caracterización del agua tratada 2

### ESPOCH

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

#### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Saul Valdez Rosales

Fecha de Análisis: 6/11/2017

Tipo de muestras: Agua Residual Doméstica Tratada

Tipo de Tratamiento: Natural 2

Localidad: Parroquia Vuelta Larga – Cantón Esmeraldas

#### TRABAJO DE TITULACIÓN

Determinaciones	Unidades	*Método	Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	6-9	7,17
Color	Und. Co/Pt	2120-C	-	141
Turbiedad	NTU	2130-B	-	26
Temperatura	°C	2550-B	-	21
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	-	540
Aceites y Grasas	mg/L	2530-C	30	7
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	98
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	63
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	10	5
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	HACH 10072	50	7
Sulfatos	mg/L	4500 SO <sub>4</sub> - E	1000	146
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	-	290
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	2540-C	130	14
Sólidos Sedimentables	mg/L	2540-B	-	0
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	341
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	9222 - B	2000	Ausencia
Coliformes Totales	UFC/100mL	9222 - B	2000	Ausencia

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\* 097-A TULSMA. Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Observaciones:

Atentamente.

  
Dra. Gina Alvarez R. ESPOCH  
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA



## ANEXO K. Resultados de la caracterización del agua tratada 3

# ESPOCH

### LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

#### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Saul Valdez Rosales

Fecha de Análisis: 18/10/2017

Tipo de muestras: Agua Residual Doméstica Tratada

Tipo de Tratamiento: Químico

Localidad: Parroquia Vuelta Larga – Cantón Esmeraldas

#### TRABAJO DE TITULACIÓN

Determinaciones	Unidades	*Método	Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	6-9	7,05
Color	Und. Co/Pt	2120-C	-	36
Turbiedad	NTU	2130-B	-	7
Temperatura	°C	2550-B	-	20
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	-	650
Aceites y Grasas	mg/L	2530-C	30	5
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	76
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	35
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	10	4,21
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	HACH 10072	50	2
Sulfatos	mg/L	4500 SO <sub>4</sub> - E	1000	144
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-D	-	325
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2540-C	130	2
Sólidos Sedimentables	mg/L	2540-B	-	0
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	392
Coliformes Fecales	UFC/100mL	9222 - B	2000	Ausencia
Coliformes Totales	UFC/100mL	9222 - B	2000	148

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\* 097-A TULSMA. Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Observaciones:

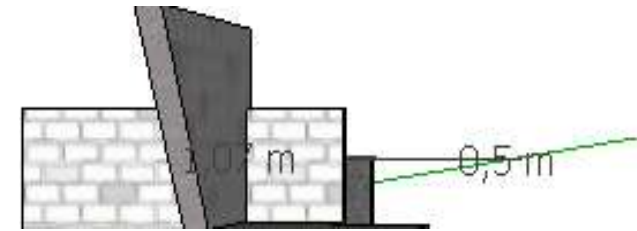
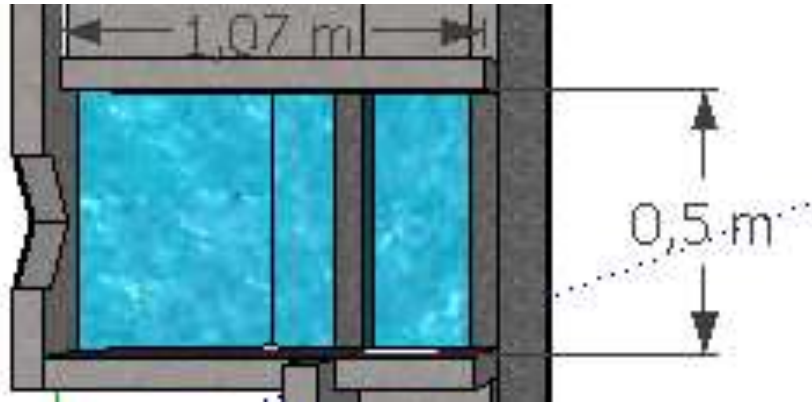
Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R. SPOCH

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

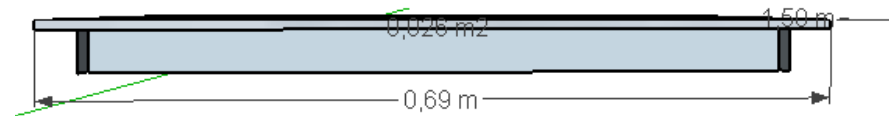
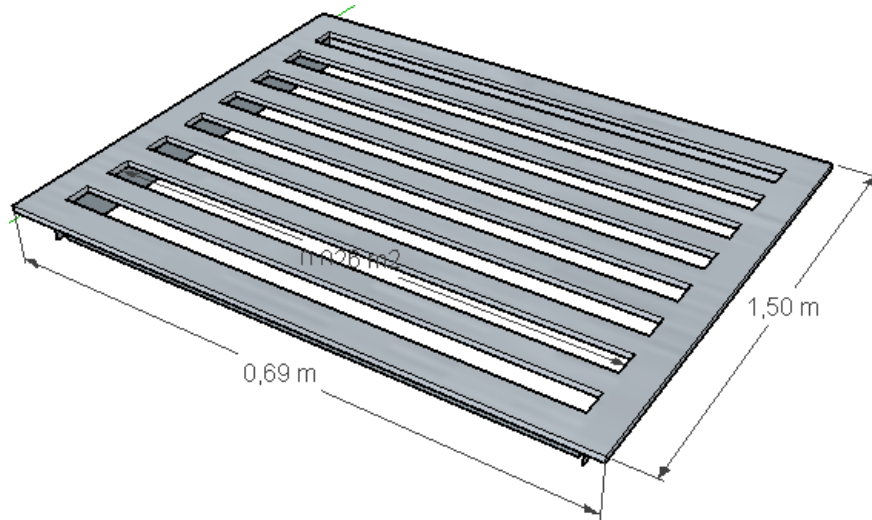


## ANEXO L. Vertedero Rectangular



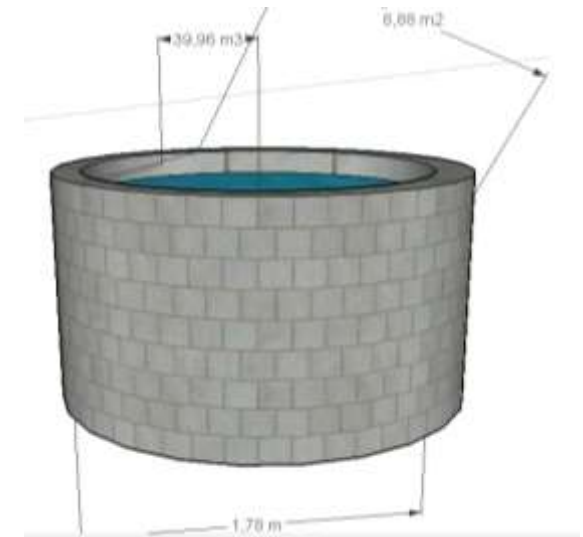
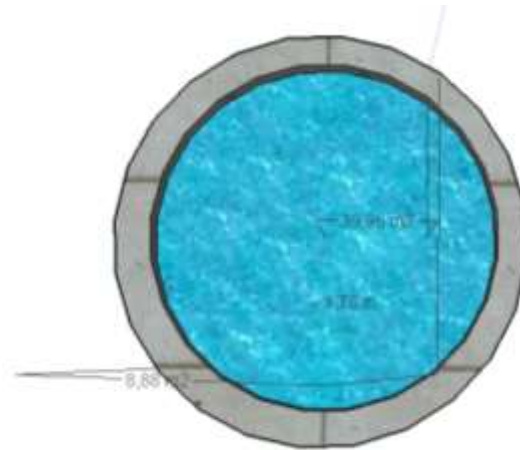
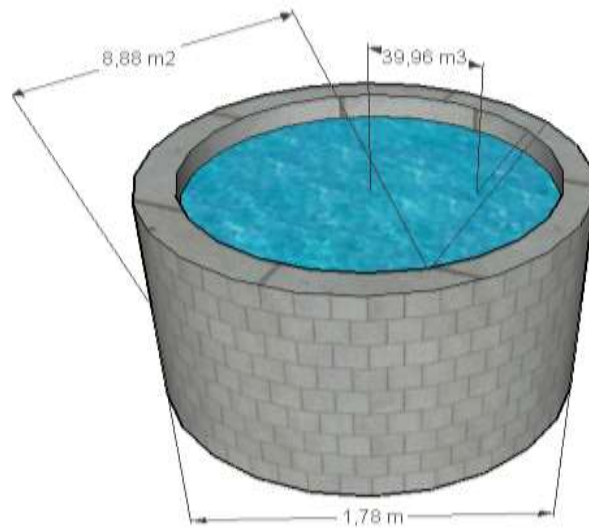
NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: Valdez Rosales Saul David	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
Vertedero Rectangular	<div><div><input type="checkbox"/> Aprobado</div><div><input type="checkbox"/> Certificado</div><div><input type="checkbox"/> Información</div></div> <div><div><input type="checkbox"/> Preliminar</div><div><input type="checkbox"/> Por aprobar</div><div><input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</div></div>		LÁM:	ESC:	FECHA:
			6	1:4	2017/11/26

## ANEXO M. Rejillas



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  ELABORADO POR:  Valdez Rosales Saul David	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES			
Rejillas	<input type="checkbox"/> Aprobado		<input type="checkbox"/> Preliminar	LÁM:	ESC:	FECHA:
	<input type="checkbox"/> Certificado		<input type="checkbox"/> Por aprobar			
	<input type="checkbox"/> Información		<input checked="" type="checkbox"/> Por calificar			
			7	1:4	2017/11/26	

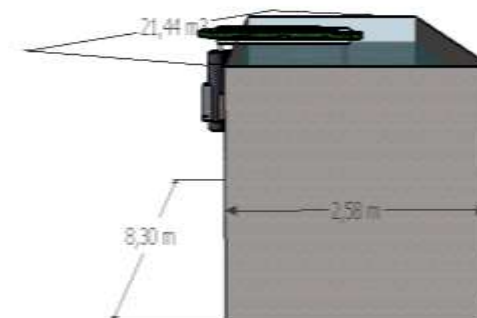
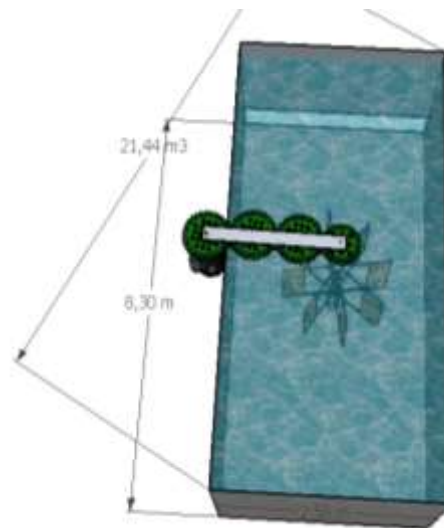
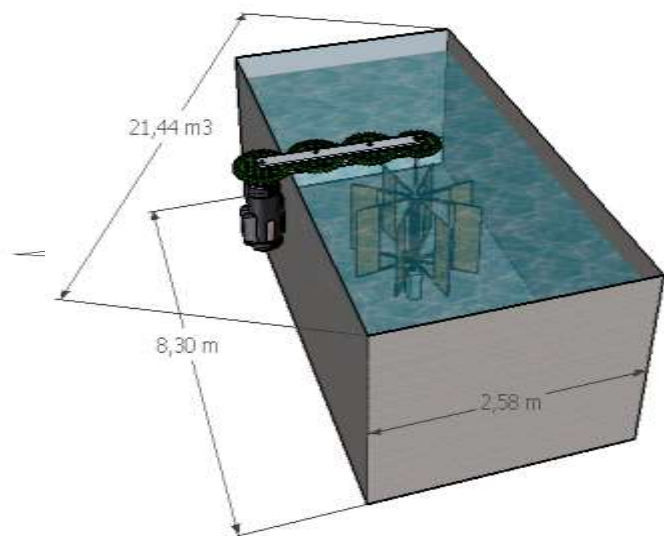
## ANEXO N. Tanque Ecualizador



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  ELABORADO POR:  Valdez Rosales Saul David	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
Tanque Ecualizador	<div><div><input type="checkbox"/> Aprobado</div><div><input type="checkbox"/> Certificado</div><div><input type="checkbox"/> Información</div></div> <div><div><input type="checkbox"/> Preliminar</div><div><input type="checkbox"/> Por aprobar</div><div><input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</div></div>		LÁM:	ESC:	FECHA:
			8	1:4	2017/11/26

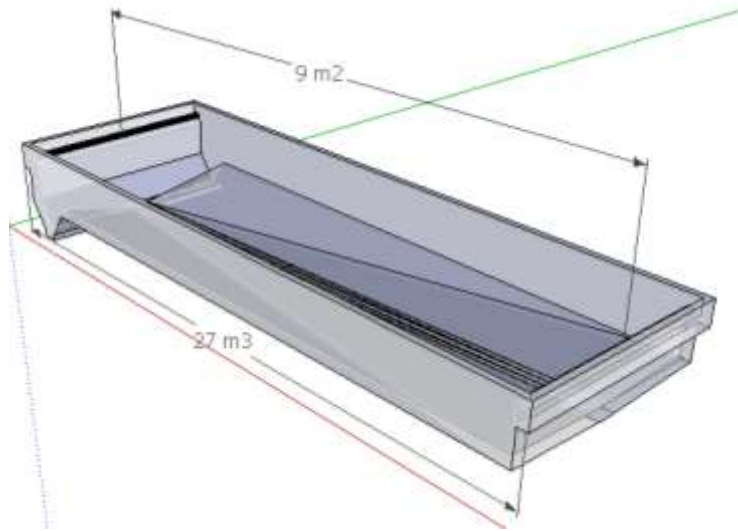


## ANEXO Ñ. Coagulador Floculador

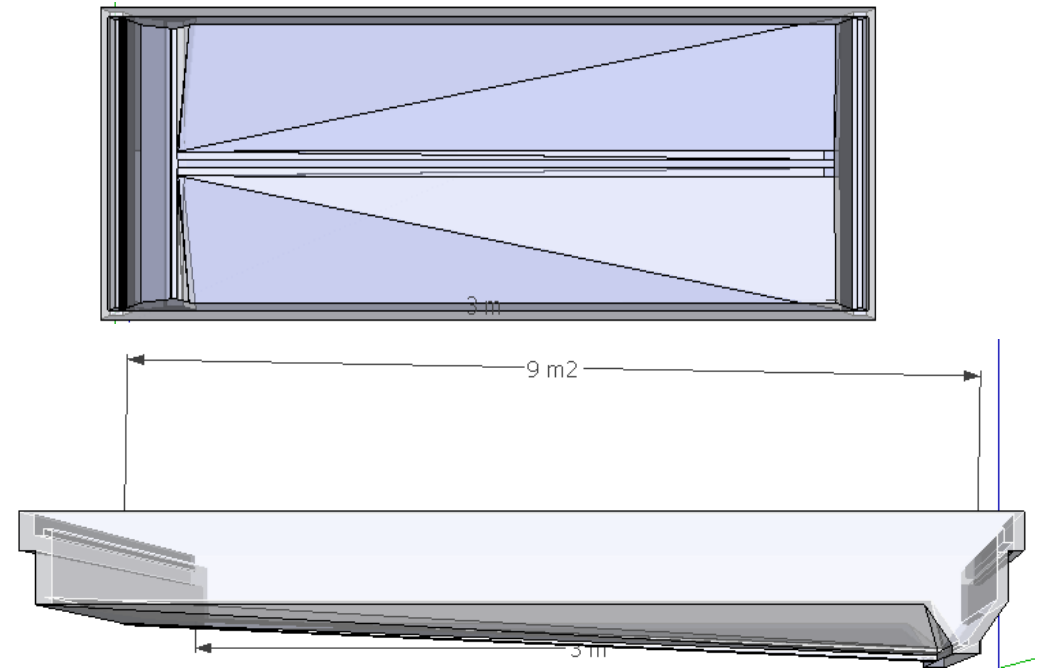


NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  ELABORADO POR: Valdez Rosales Saul David	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
Tanque Floculador	<div><div><input type="checkbox"/> Aprobado</div><div><input type="checkbox"/> Certificado</div><div><input type="checkbox"/> Información</div></div> <div><div><input type="checkbox"/> Preliminar</div><div><input type="checkbox"/> Por aprobar</div><div><input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</div></div>		LÁM:	ESC:	FECHA:
			9	1:4	2017/11/26

## ANEXO O. Sedimentador Secundario

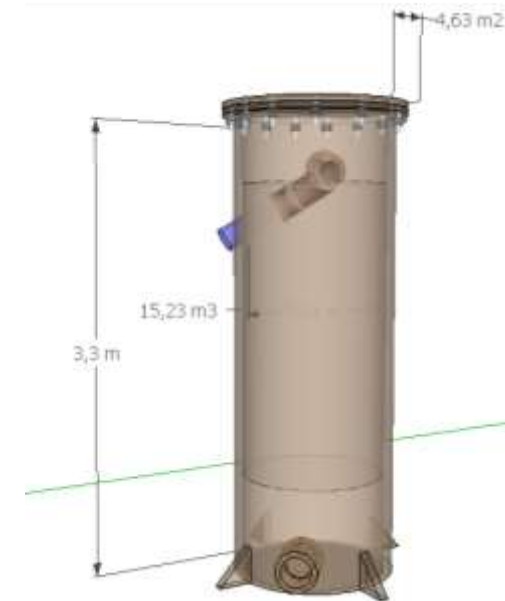
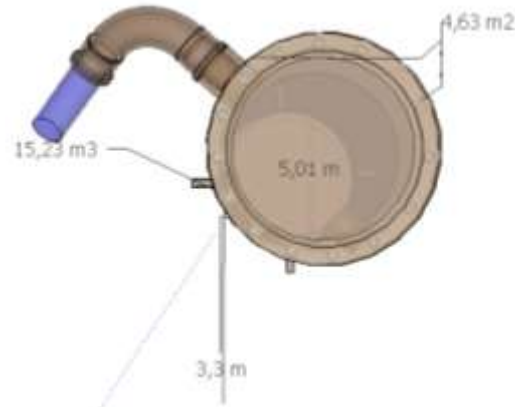
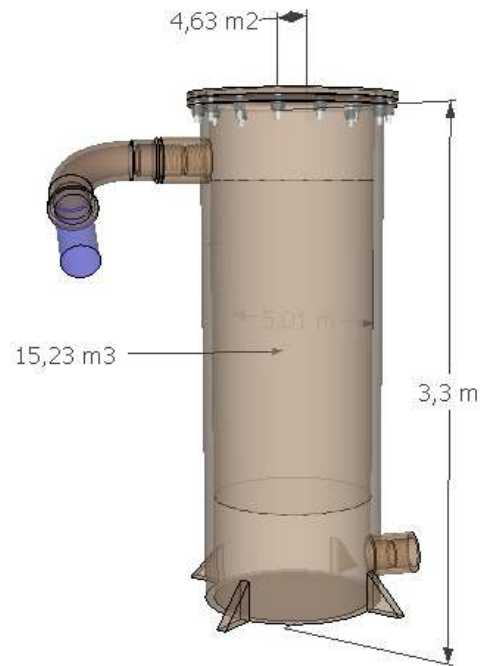


**RECOLECCIÓN DE LODOS**



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  ELABORADO POR:  Valdez Rosales Saul David	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
Tanque Sedimentador	<div><input type="checkbox"/> Aprobado<input type="checkbox"/> Preliminar</div> <div><input type="checkbox"/> Certificado<input type="checkbox"/> Por aprobar</div> <div><input type="checkbox"/> Información<input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</div>		LÁM:	ESC:	FECHA:
			10	1:4	2017/11/26

## ANEXO P. Filtro Dual



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: Valdez Rosales Saul David	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
Filtro	<div><div><input type="checkbox"/> Aprobado</div><div><input type="checkbox"/> Certificado</div><div><input type="checkbox"/> Información</div></div> <div><div><input type="checkbox"/> Preliminar</div><div><input type="checkbox"/> Por aprobar</div><div><input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</div></div>		LÁM:	ESC:	FECHA:
			11	1:4	2017/11/26



**ANEXO Q. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la Parroquia Vuelta Larga  
del Cantón Esmeraldas**

**CROQUIS DE FUNCIONAMIENTO**  
**"PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES"**

**LEYENDA DE EQUIPOS Y ÁREA:**

- a) VERTEDERO RECTANGULAR
- b) REJILLAS
- c) TANQUE ECUALIZADOR
- d) TANQUE COAGULADOR - FLOCULADOR
- e) TANQUE SEDIMENTADOR
- f) ÁREA DE RECOLECCIÓN DE LODOS
- g) FILTRO

